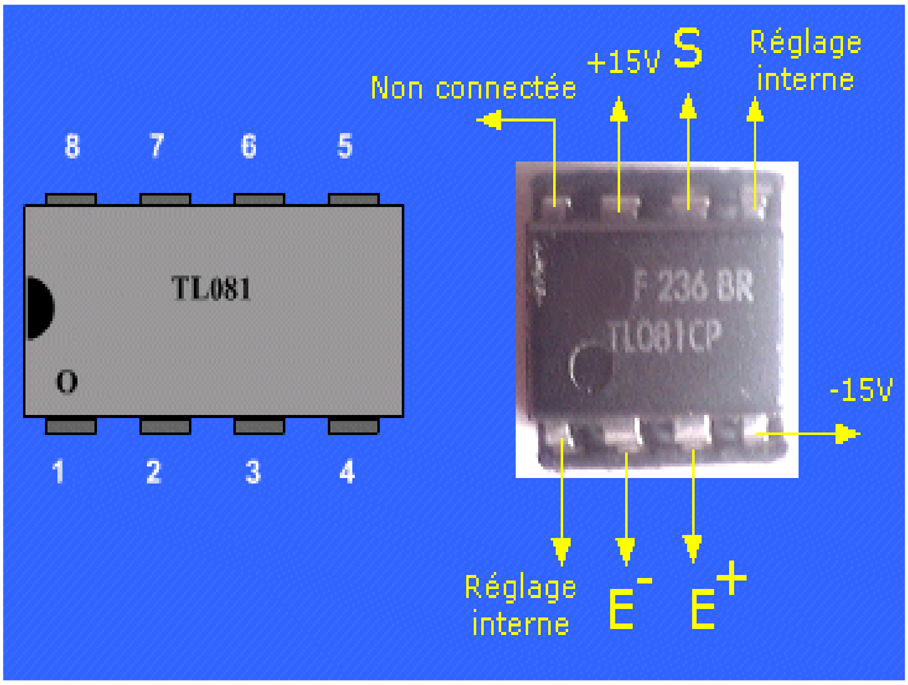
Tome 1

Cours de Physique 1ère D

Annale de cours et d'exercices

Proposé par KANGA Henri



Avant-propos

Mon combat est celui d'une école d'apprentissage, d'éducation et de réussite. Cet objectif est du reste largement partagé par l'ensemble de tous les acteurs de l'école ivoirienne. En effet, l'école est une institution dispensatrice de savoir et de valeurs à même de consolider la société. C'est en cela qu'elle participe au développement de la société dont elle est l'émanation.

Mais cette quête n'est réalisable que si les acteurs et les partenaires de l'école ivoirienne croient en la vertu du courage et de l'effort, aussi bien au niveau de l'apprenant que de l'enseignant. Ne dit-on pas que: « l'effort fait des forts » ?

La tricherie est un fléau et donc un obstacle au développement de nos sociétés. Tricher, c'est se tromper soi-même et ne mène nulle part. Par conséquent la persévérance au travail, l'endurance face aux diverses difficultés et la patience de reprendre une année d'étude en vue de parfaire le niveau et les acquis, valeurs qui cultivées par l'apprenant, l'engagerait résolument sur la voie de la réussite.

Ce faisant, ce document contient des exercices qui le familiariseront avec le type d'épreuve auquel il sera soumis aux devoirs de classe. Il permet un entrainement rigoureux, un bilan partiel au terme des objectifs spécifiques se rapprochant, donc à une préparation optimale qui seule conduit aux bonnes performances, gage de la réussite. Chers collègues, aidez les élèves à s'exercer afin de tirer de ce document les atouts de leur réussite.

NB : Les exercices regroupés dans cet ouvrage proviennent de devoirs de classe, de niveau et de livres au programme en classe de seconde. Les démarches utilisées pour la résolution des exercices ne sont pas absolues. Pour améliorer le rendement des apprenants, toutes les remarques et suggestions sont les bienvenues.

KANGA Henri
Professeur de Lycée

Progression première D *Année scolaire 2009 – 2010*

	Sem	**Physique**	**Chimie**
Sept.	1	*Prise de contact*	*Généralités sur les composés organiques*
	2	*Travail et puissance d'une force constante dans le cas d'un mouvement de translation*	
Oct.			
	3		*Les alcanes*
	4	*Théorème de l'énergie cinétique*	
	5		
	6	*Energie potentielle de pesanteur*	*Les alcènes et les alcynes*
Nov.	7		
	8	**Semaine tampon**	
	9	*Energie mécanique*	*Pétrole et gaz naturels*
Déc.	10		*Le benzène*
	11	*Le champ électrostatique*	*Quelques composés oxygénés*
	12		*Ethanol*
Janv.	13	*Energie potentielle électrostatique*	*Estérification et hydrolyse des esters*
	14	*Puissance et énergie électriques*	
	15	**Semaine tampon**	
	16	*Puissance et énergie électriques*	*Les réactions d'oxydoréduction*
Févr.	17		
	18	*Le condensateur*	
	19		*Classification des couples oxydo-réducteurs*
Mars	20	*L'amplificateur opérationnel*	
	21		*Couples d'oxydo-réducteurs en solution aqueuse. Dosage*
	22		
	23	**Semaine tampon**	
Avril	24	*- L'optique géométrique* *- Réflexion, réfraction de la lumière blanche*	*Couples d'oxydo-réducteurs en solution aqueuse. Dosage*
	25		*Oxydoréduction par voie sèche*
	26		
Mai	27	*Les lentilles minces*	*Electrolyse*
	28		
	29		
	30	*Révision*	*Révision*

U.P Sciences Physiques de SOUBRE

Je ne saurai écrire ce document sans faire un clin d'œil à mes collègues professeurs des Sciences physiques des Lycées modernes 1 et 2 de Soubré. Mes remerciements sont en particulier adressés au collègue Lobognon Ahouman pour m'avoir remis des documents de cours collectés sur le net. Merci cher collègue.

KANGA Henri

Mécanique

Titre du cours : **Travail et puissance d'une force constance dans le cas d'un mouvement de translation**

Objectifs spécifiques
- Déterminer le travail d'une force constante
- Déterminer la puissance d'une force constante

Plan du cours
Voir cours

Travail et puissance d'une force constante dans le cas d'un mouvement de translation

I – Produit scalaire

1. Définition

Soient deux vecteurs $\vec{u}$ et $\vec{v}$ de l'espace vectoriel. Le réel A est appelé le produit scalaire des vecteurs $\vec{u}$ et $\vec{v}$ si : $A = \vec{u}.\vec{v} = ||\vec{u}||.||\vec{v}||.\cos\alpha$ avec $\alpha = (\widehat{\vec{u},\vec{v}})$.

2. Propriétés

$$A = \vec{u}.\vec{v} = ||\vec{u}||.||\vec{v}||.\cos\alpha \left| \begin{array}{l} -\text{si } \alpha \in [0;90°[,\ A > 0 \\ -\text{si } \alpha = 90°,\ A = 0 \\ -\text{si } \alpha \in]90°;180°],\ A < 0 \end{array} \right.$$

Remarque : Le produit scalaire est une grandeur algébrique.

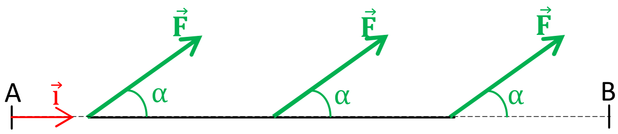
II – Travail d'une force constante

1. Définition

Une force est dite constante si ses caractéristiques (direction, sens, valeur, …) restent invariables au cours du temps.

2. Travail d'une force constante au cours d'un déplacement rectiligne

Dans un référentiel donné, le travail d'une force constance $\vec{F}$ dont le point d'application se déplace d'un point A vers un point B suivant un trajet rectiligne est donné par : $W_{AB}(\vec{F}) = \vec{F}.\overrightarrow{AB} = F.AB.\cos\alpha$ exprimé en (Joule), AB en (m) et F en (N).



Remarque :

- si $\alpha \in [0;90°[$, $W_{AB}(\vec{F}) = \vec{F}.\overrightarrow{AB} > 0$. Le travail est moteur.
- si $\alpha = 90°$, $W_{AB}(\vec{F}) = \vec{F}.\overrightarrow{AB} = 0$. Le travail est nul.
- si $\alpha \in]90°;180°]$, $W_{AB}(\vec{F}) = \vec{F}.\overrightarrow{AB} < 0$. Le travail est résistant.

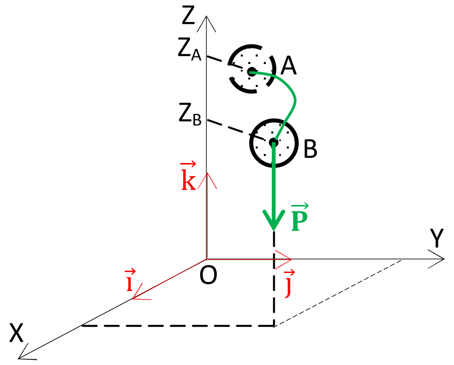
Le travail d'une force est une grandeur algébrique.

3. Travail du poids au cours d'un déplacement quelconque

Considérons un solide S de masse m se déplaçant de A vers B.

Le travail du poids $\vec{P}$ de A à B est $W_{AB}(\vec{P}) = \vec{P}.\overrightarrow{AB}$.

Dans le repère $(O, \vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$, les coordonnées des vecteurs $\vec{P}$ et $\overrightarrow{AB}$ sont : $\vec{P}\left|\begin{array}{l} P_x = 0 \\ P_y = 0 \\ P_z = -P \end{array}\right.$ et $\overrightarrow{AB}\left|\begin{array}{l} X_B - X_A \\ Y_B - Y_A \\ Z_B - Z_A \end{array}\right.$.



$W_{AB}(\vec{P}) = - mg(Z_B - Z_A) = mg(Z_A - Z_B)$.

Posons $H = Z_A - Z_B$. $W_{AB}(\vec{P}) = mgH$.

Le travail du poids d'un solide ne dépend que des altitudes des points de départ et point d'arrivée de son centre d'inertie. Il ne dépend pas du chemin suivi pour aller de A vers B. Le poids est une force conservative.

Remarque : $W_{AB}(\vec{P}) = \mp mgH$.

- si le solide monte, le travail du poids est résistant : $W_{AB}(\vec{P}) = -mgH$.
- si le solide descend, le travail du poids est moteur : $W_{AB}(\vec{P}) = + mgH$.

Activité 1

On déplace à vitesse constante un solide de masse m = 100g d'un point A à un point B, dans le champ de pesanteur terrestre où g = 10N/kg. Déterminer la valeur de la force $\vec{F}$ et le travail $W_{AB}(\vec{F})$ à fournir dans les cas suivants.

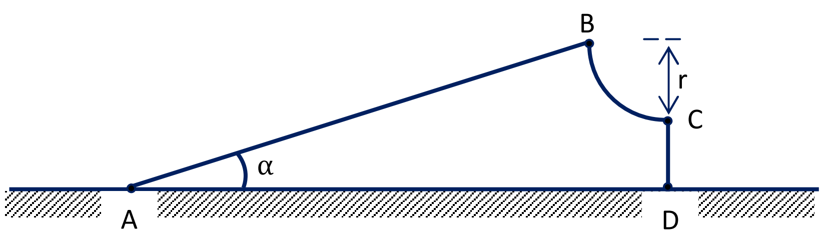
1. Soulever le solide au-dessus du sol avec AB = h = 1,2m.
2. Déplacer le solide sur une piste AB horizontale de longueur AB= ℓ = 6m en admettant que les forces de frottement sont équivalentes à une force unique $\vec{f}$ constamment opposée à la vitesse du solide et de valeur f = 0,15N.
3. Déplacer le solide vers le haut sur un plan incliné d'un angle α = 20° et sur une distance de AB=4,5m. La résultante des forces de frottement reste la même.

Activité 2

Un jouet d'enfant peut glisser sans frottement sur le trajet ABC et atterrir au sol D.
Voir la figure ci-dessous.

1. Faire l'inventaire des forces appliquées au système (le jouet).
2. Calculer le travail du poids sur le trajet AB ; BC et CD.
3. En déduire le travail du poids sur le trajet ABCD. Quelle remarque faites-vous ?

AB = 80cm; sinα = 0,25 ; r = 15cm CD = 5cm. Prendre 3,5N.



III - Puissance d'une force

1. Puissance moyenne

Dans un référentiel donné, le travail d'une force $\vec{F}$ lorsque son point d'application se déplace d'un point A vers un point B, pendant les instants t_1 et t_2 est $W_{AB}(\vec{F})$. Pendant cette durée, la puissance moyenne de la force $\vec{F}$ est $\mathcal{P}_m(\vec{F}) = \frac{W_{AB}(\vec{F})}{t_2 - t_1} = \frac{W_{AB}(\vec{F})}{\Delta t}$ exprimée en Watt(W).

Le temps t_1-t_2 est exprimé en (s).

2. Puissance instantanée

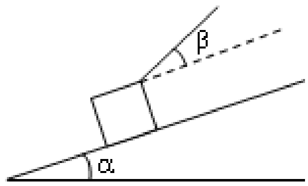
Pendant un intervalle de temps dt très bref, le travail d'une force $\vec{F}$ est $dW = \vec{F}.\vec{d\ell}$.

La puissance instantanée de cette force est $(\vec{F}) = \frac{dW(\vec{F})}{dt} = \vec{F}.\frac{\vec{d\ell}}{dt} = \vec{F}.\vec{v}$.

Travaux dirigés

Exercice 1

Un chariot de masse m = 75kg remonte une piste inclinée de α = 10° par rapport au plan horizontal. Les forces de frottement sont supposées négligeables. Le déplacement se fait suivant la ligne de plus grande pente. Le chariot est tiré par un câble qui fait avec le plan incliné AB un angle β = 20°. Le déplacement se fait à vitesse constante v = 5ms^{-1}. Prendre g = 10N/kg.



1. Représenter les forces extérieures qui s'exercent sur le chariot.
2. Déterminer l'intensité de la tension du câble.
3. Calculer la puissance de cette tension.

Exercice 2

Un cycliste de masse m = 70 kg monte une côte de pente à 15% sur une longueur AB = 8 m.

1. Quelle est la nature du travail du poids du cycliste sur ce déplacement ? Prendre g = 9,8 N/kg.
2. Calculer sa valeur.
3. On n'admet que l'ensemble des forces de frottement équivalent à une force unique $\vec{f}$ d'intensité f = 5N. Calculer le travail de cette force au cours du même déplacement
4. Le cycliste garde sa vitesse constante à 90 km/h.

4.1. Faire l'inventaire de forces qui s'exercent au système (le cycliste).

4.2. Déterminer l'intensité et le travail de la force motrice $\vec{F}$.

4.2. Calculer la puissance exercée par cette force.

Exercice 3

Un skieur de poids P = 800 N est tiré à la vitesse constante de 10km/h par une remonte piste. La perche fait un angle β = 50° avec le sol, lui-même incliné d'un angle α = 30°avec l'horizontale. Les forces de frottement, opposées au déplacement, sont équivalentes à une force unique $\vec{f}$ d'intensité f = 50 N.

1. Représenter les forces qui s'exercent sur le système.
2. Calculer :

2.1. La valeur de la force motrice $\vec{F}$ exercée par la perche sur le skieur.

2.2. La puissance de cette force.

2.3. Le travail de cette force lorsque le skieur s'est élevé de 2m.

Exercice 4 Prendre g = 9,8N/kg.

Un moteur tracte le long de la ligne de plus grande pente d'un plan incliné une charge de masse m = 500kg. L'inclinaison du plan est 34,2%, la puissance du moteur est constance et vaut 10kW et le déplacement se fait à vitesse constante.

1. Donner l'expression de la vitesse en fonction de la puissance, de la force de frottement, de la masse m, de g et l'inclinaison α.
2. En déduire l'expression de la durée t nécessaire pour tirer la charge sur une distance d.
3. Calculer la durée t dans les deux cas suivants :

3.1. Les forces de frottement sur la charge sont négligeables

3.2. Les forces de frottement sur la charge ont une intensité égale au dixième du poids de celle-ci.

Titre du cours : **Théorème de l'énergie cinétique**

Objectifs spécifiques

- Déterminer l'énergie cinétique d'un solide en translation.
- Vérifier et appliquer le théorème de l'énergie cinétique.

Plan du cours

Voir cours

Théorème de l'énergie cinétique

I- Energie cinétique

1- Définition

L'énergie que possède un système du fait de sa vitesse est appelée énergie cinétique.

2- Expression de l'énergie cinétique de translation

Tout système de masse m déplaçant à la vitesse v possède l'énergie cinétique : $Ec = \frac{1}{2} m v^2$ avec m(en kg), v(en m/s) et Ec(en Joule).

II- Etude de la chute libre d'un solide

1- Chute libre

On dit qu'un solide est en chute libre, s'il chute (tombe) uniquement sous l'action de son poids. On néglige toutes les autres forces susceptibles d'agir sur le solide.

2- Etude expérimentale de la chute libre

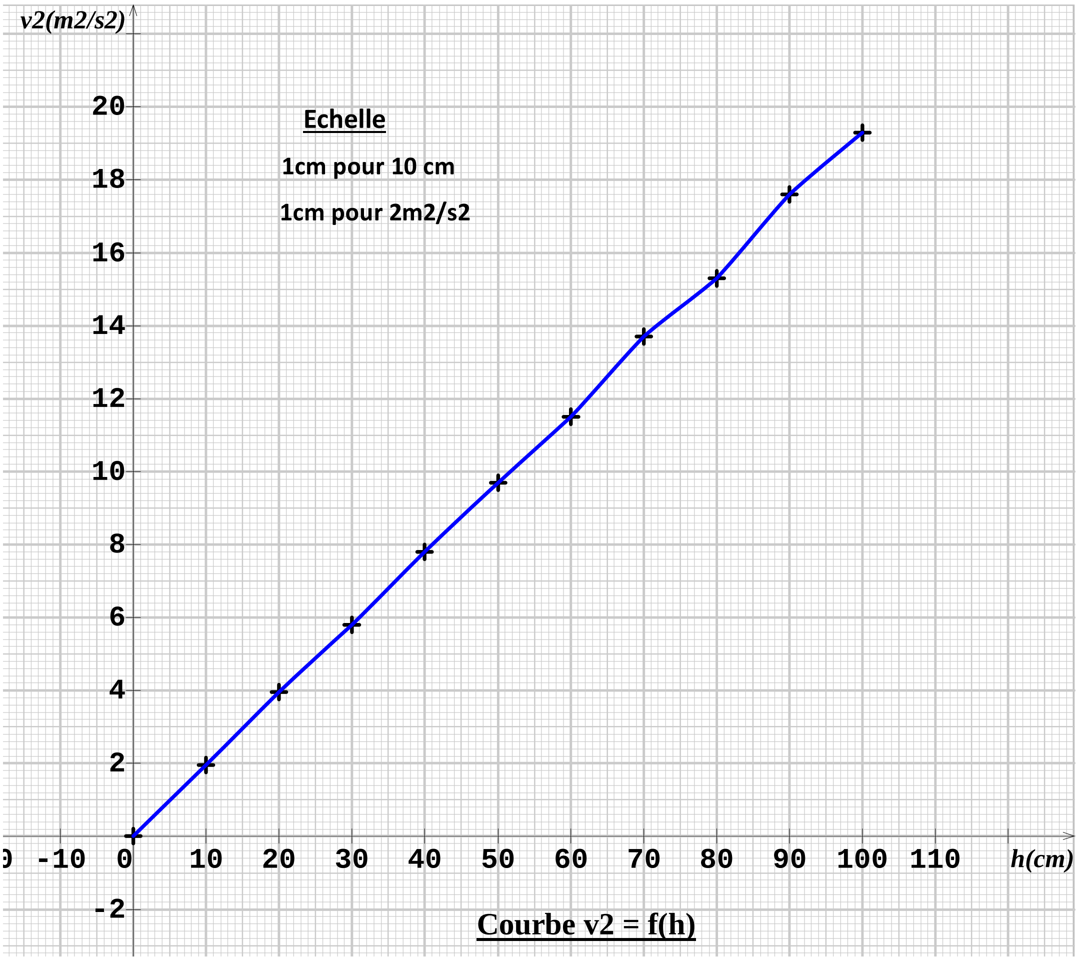
2.1- Expérience

On réalise la chute libre d'une bille d'acier de masse m. A l'aide de capteurs de vitesses, on enregistre les valeurs de la vitesse en fonction de la hauteur h de la bille.

2.2- Résultats

Hauteur h(cm)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Vitesse v(m/s)	1,4	1,97	2,4	2,8	3,1	3,4	3,7	3,9	4,2	4,4
Carré de la vitesse v(m^2/s^2)	1,96	3,92	5,8	7,8	9,7	11,5	13,7	15,2	17,6	19,3

2.3- Courbe $v^2 = f(h)$



Exploitation de la courbe

La courbe obtenue est une droite de pente k. $k = \frac{\Delta v^2}{\Delta h} = \frac{3{,}92-1{,}96}{0{,}2-0{,}1} = 19{,}6$ m/s².

Pour g = 9,8 N/kg, on a k = 2g. D'où pour deux points 1 et 2, $v_2^2 - v_1^2 = 2g(h_2-h_1)$.

Multiplions les deux membres de l'égalité par la masse m de la bille d'acier.

$m(v_2^2 - v_1^2) = 2\,mg(h_2-h_1)$ $\frac{1}{2}m(v_2^2 - v_1^2) = mg(h_2-h_1)$ $Ec_2 - Ec_1 = Ph$.

Donc $\Delta Ec_{1\text{-}2} = W_{1\text{-}2}(\vec{P})$.

2.4- Conclusion

A tout instant, la variation de l'énergie cinétique de la bille est égale au travail de son poids.

3- Généralisation : Enoncé du théorème de l'énergie cinétique

Dans un référentiel galiléen, la variation de l'énergie cinétique d'un système entre deux instants t_1 et t_2 est égale à la somme algébrique des travaux des forces extérieures appliquées au système pendant les mêmes instants. $\Delta Ec_{1\text{-}2} = Ec_2 - Ec_1 = \Sigma W_{1\text{-}2}(\vec{F}_{ext})$.

Remarque

La variation de l'énergie cinétique apparait comme un transfert d'énergie cinétique en travail.

4- Méthode de résolution d'un problème de mécanique

Pour résoudre un exercice en mécanique, il faut :

- préciser le système d'étude,
- préciser le référentiel utilisé muni d'un repère si nécessaire,
- faire le bilan des forces extérieures appliquées au système d'étude et les représenter si cela vous est demandé,
- utiliser le théorème de l'énergie cinétique pour répondre aux questions posées quand il le faut.

Application 1

Un jouet d'enfant de masse m = 100g est lancé avec une force $\vec{F}$ d'intensité F = 5N sur un rail parfaitement lisse et incliné d'un angle α= 30° par rapport à l'horizontale. Le jouet part du point A avec la vitesse v_A = 1,5m/s et atteint le point B à la vitesse v_B = 2m/s. Prendre g = 9,8N/kg,

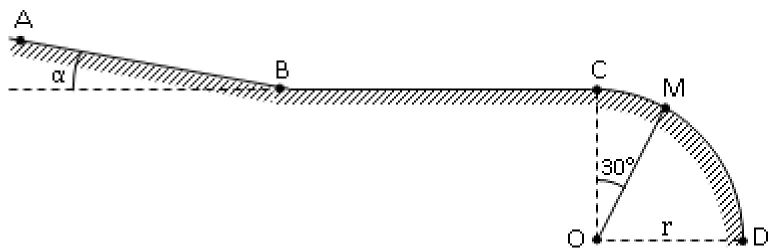
1. Faire l'inventaire des forces appliquées au système et les représenter.
2. Calculer la distance AB.

Application 2

Une glissière ABCD comprend trois parties :

- AB est un plan incliné d'un angle α = 15° par rapport à l'horizontale et de longueur ℓ = 1m.
- BC est une partie horizontale de longueur BC = 2m.
- CD est une portion circulaire (quart de cercle de rayon r = 1,5m.

Dans tout le problème, on prendra g = 9,8 m/s².



1. Etude du mouvement sur la partie AB parfaitement lisse.

Un solide supposé ponctuel de masse m = 200g est abandonné au point A avec la vitesse v_A = 0,75m/s.

1.1. Faire le bilan des forces extérieures appliquées au solide et les représenter.
1.2. Donner l'expression de la vitesse v_B acquise par le solide au point B.
1.3. Calculer sa valeur.

2. Etude du mouvement sur la partie BC rugueuse.

Le solide aborde la partie BC avec des forces de frottement supposé unique de résultante $\vec{f}$, parallèle à la trajectoire mais de sens opposé au déplacement. Il s'immobilise au point C.

2.1. Faire le bilan des forces extérieures appliquées au solide et les représenter.
2.2. Donner l'expression de la valeur de la force $\vec{f}$ qui immobilise le solide au point C.
2.3. Calculer sa valeur.

3. Etude du mouvement sur la partie CD.

Le solide aborde la partie circulaire CD parfaitement lisse.

3.1. Faire le bilan des forces extérieures appliquées au solide et les représenter au point M.
3.2. Donner l'expression de la vitesse v_M acquise par le solide au point M.
3.3. Calculer sa valeur.
3.3. En déduire la vitesse v_D au point D.

Travaux dirigés

Exercice 1 Cet exercice comprend 2 parties indépendantes. Prendre g=9,8N/kg.

1. Lors d'une expérience de chute libre sans vitesse initiale, on détermine la vitesse de la bille en fonction du temps. On obtient le tableau ci-dessous.

Temps(s)	0,25	0,32	0,40	0,45	0,52
Vitesse (m/s)	2,45	3,15	3,92	4,42	5,10

1.1. Tracer la courbe v = f(t). Echelle : 1cm pour 5.10^{-2}s et 1cm pour 0,5m/s.
Quelle remarque faites-vous ? Calculer la pente a de cette courbe. On précisera son unité.
1.2. Comparer la valeur de cette pente à celle de l'intensité de la pesanteur g.
Proposer une autre unité pour g.
1.3. Exprimer la vitesse v en fonction de g et t.
1.4. Calculer la vitesse de la bille à t = 0,5s.
2. Au cours d'une séance de travaux pratiques portant sur la chute libre, on mesure la date t pour différentes position h de la bille. On obtient le tableau ci-dessous.

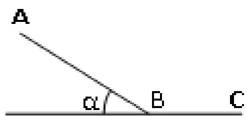
Position h(m)	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	1,96
Temps t(s)	0,32	0,39	0,45	0,51	0,55	0,60	0,63
$t^2(s^2)$							

2.1. Compléter le tableau et tracer la courbe h = f(t^2). Echelle : 1cm pour 0,2m et 1cm pour 0,05s^2.
Donner la nature de la courbe.
2.2. Calculer la pente a de cette courbe. Trouver un rapport entre a et g.
2.3. En déduire la relation donnant h en fonction entre g et t^2.
2.4. Calculer la hauteur de la bille à t = 0,5s.

Exercice 2 Cet exercice comprend 2 parties indépendantes. Prendre g=9,8N/kg.

Partie 1

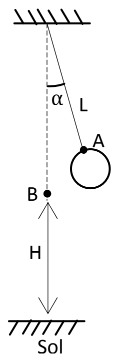
1. Un wagonnet, se déplaçant sans frottement sur une voie, aborde, dans le sens de la montée, un plan incliné faisant un angle de α=3° avec l'horizontale. Quelle vitesse doit-il posséder au bas de cette rampe pour parcourir 100m avant de s'arrêter ?



Partie 2

2. Un solide S de masse m = 3kg peut glisser sans frottement sur un plan incliné d'un angle α= 5° sur le plan horizontal. On lâche, sans vitesse initiale le solide S en haut du plan incliné. Après avoir parcouru une distance AB = 10m, il aborde un plan horizontal.
2.1. Calculer, en B, la valeur de l'énergie cinétique et celle de la vitesse.
2.2. Le solide S parcourt ensuite la distance BC = 20m sur le plan horizontal avant de s'immobiliser sous l'action des forces de frottement. Calculer la valeur de la résultante de ces forces.

Exercice 3 Prendre g=9,8N/kg.



Soit un plan incliné faisant un angle α = 45° par rapport à l'horizontale. On lance vers le haut et suivant la ligne de plus grande pente, à partir d'un point A, un solide de masse m avec la vitesse initiale v = 20m/s. On néglige les frottements.
1. Calculer la distance parcourue par le solide lorsqu'il atteint l'altitude maximale.
2. En déduire l'altitude maximale correspondante
3. En réalité, il existe une force de frottement d'intensité égale au dixième du poids du solide.
3.1. Calculer la distance parcourue par le solide.
3.2. Quelle la hauteur maximale atteinte par le solide ?

Exercice 4 *Prendre g=9,8N/kg.*

Une bille supposé ponctuelle, de masse m, est accroché à l'extrémité d'un fil de masse négligeable et de longueur L = 1,5m.

1. On écarte le pendule ainsi formé de sa position d'équilibre.
Le fil fait alors avec la verticale un angle α.
La bille est lâchée dans cette position sans vitesse initiale.
Déterminer la valeur de l'angle α pour que la bille passe à la verticale avec la vitesse v_B = 1,6ms^{-1}.
2. Au passage à la verticale, la bille se décroche du fil.
Calculer la vitesse v_S avec laquelle la bille atterrit sur le sol situé à la hauteur H = 2 m plus bas.

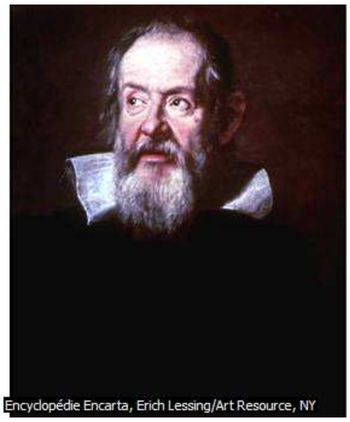
Exercice 5 *Prendre g=10N/kg*

L'emploi se faisant rare de nos jours, Cofi décide de s'essayer au travail de pousse-pousse afin de survenir à ses petits besoins du quotidien. Il charge sa charrette de paquets de ciment et descend une côte inclinée d'un angle α = 60° par rapport à la verticale passant par le centre d'inertie de la charrette. La masse de l'ensemble (charrette + la charge) est m = 400kg et produit des forces de frottements équivalentes à une force unique $\vec{f}$ d'intensité f = 196N.

Cofi exerce sur la charrette une force constante $\vec{F}$. L'ensemble (charrette + la charge) avance à la vitesse constance.

1. Faire l'inventaire des forces extérieures qui s'exercent sur la charrette et les représenter sur un schéma clair et précis.
2. Justifier le sens de la force $\vec{F}$ et calculer son intensité.
3. Cofi part d'un point A à la vitesse v_A = 1,5m/s et arrive en B à 20m plus bas. Calculer les travaux des forces qui s'exercent sur la charrette lorsque Cofi parcourt la distance AB.
En déduire l'énergie cinétique en B.

Un peu d'histoire de la science



Encyclopédie Encarta, Erich Lessing/Art Resource, NY

Galilée *(savant) (1564-1642), physicien et astronome italien à l'origine de la révolution scientifique du XVII*[e] *siècle et l'un des fondateurs de la physique moderne. Ses théories ainsi que celles de l'astronome allemand Johannes Kepler servirent de fondement aux travaux du physicien britannique sir Isaac Newton sur la loi de l'attraction universelle. Sa principale contribution à l'astronomie fut l'invention de la lunette et la découverte des taches solaires, des montagnes et des vallées lunaires, des quatre plus grands satellites de Jupiter et des phases de Vénus. En physique, il découvrit la loi de la chute des corps et les mouvements paraboliques des projectiles. Dans l'histoire de la culture, Galilée est le symbole de la bataille livrée contre les autorités pour la liberté de la recherche.*

Rex Features, Ltd.

Newton, sir Isaac *(1642-1727), mathématicien, physicien et astronome anglais, considéré comme l'un des plus grands scientifiques de l'histoire.*

Titre du cours : **Energie potentielle de pesanteur**
Energie mécanique

Objectifs spécifiques

- Définir l'énergie potentielle de pesanteur.
- Définir l'énergie mécanique.
- Montrer la conservation de l'énergie mécanique.
- Appliquer la conservation de l'énergie mécanique.

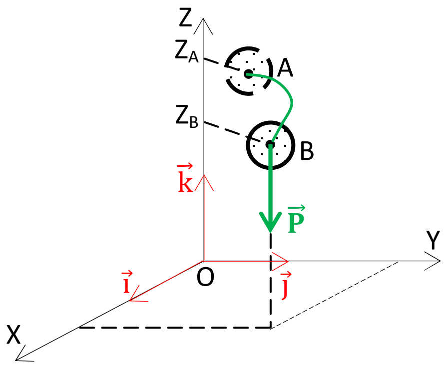
Plan du cours

Voir cours

Energie potentielle de pesanteur – Energie mécanique

I- Energie potentielle de pesanteur

1- Définition



L'énergie que possède un système du fait de sa position dans le champ de pesanteur est appelée énergie potentielle de pesanteur.

2- Expression de l'énergie potentielle de pesanteur

Considérons un solide S de masse m en chute libre de A vers B. Le travail du poids $\vec{P}$ de A à B est $W_{AB}(\vec{P}) = \vec{P}.\overrightarrow{AB}$.

Dans le repère $(O, \vec{i}, \vec{j})$, les coordonnées des vecteurs $\vec{P}$ et $\overrightarrow{AB}$ sont : $\vec{P}\left|\begin{matrix} P_x = 0 \\ P_y = 0 \\ P_z = -P \end{matrix}\right.$ et $\overrightarrow{AB}\left|\begin{matrix} X_B - X_A \\ Y_B - Y_A \\ Z_B - Z_A \end{matrix}\right.$.

Posons $H = Z_A - Z_B$. $W_{AB}(\vec{P}) = -mgH$. $W_{AB}(\vec{P}) = -mg(Z_B - Z_A) = mgZ_A - mgZ_B$.

$Ep(Z) = mgZ$ est l'énergie potentielle de pesanteur du solide S.

Remarque

$Ep(Z) = mgZ + cste$ est l'expression générale de l'énergie potentielle de pesanteur d'un système dont le centre d'inertie est à l'altitude Z par rapport à la position de référence choisi.

3- Variation de l'énergie potentielle de pesanteur d'un système.

Le travail du poids $\vec{P}$ d'un système se déplaçant de A à B est $W_{AB}(\vec{P}) = \vec{P}.\overrightarrow{AB}$.

Dans le repère $(O, \vec{i}, \vec{j})$, voir la figure ci-dessus, posons $H = Z_A - Z_B$. $W_{AB}(\vec{P}) = -mgH$.

$W_{AB}(\vec{P}) = -mg(Z_B - Z_A) = mgZ_A - mgZ_B = Ep_A - Ep_B$. Or $\Delta Ep_{A-B} = Ep_B - Ep_A$. $\Longrightarrow$ $W_{AB}(\vec{P}) = -\Delta Ep_{A-B}$.

La variation de l'énergie potentielle de pesanteur d'un système entre deux points A et B est égale à l'opposé du travail du poids du système entre ces deux points.

4- Position de référence et signe de l'énergie potentielle de pesanteur

4.1- Position de référence

C'est la position du système pour laquelle la valeur de l'énergie potentielle de pesanteur est choisie nulle. Soit Z_0 cette position, $Ep(Z_0) = 0$.

4.2- Signe de l'énergie potentielle de pesanteur

Soit Z_0 la position de référence de l'énergie potentielle.

On a $Ep(Z_0) = 0$. - Si $Z > Z_0$, $Ep(Z) > 0$; - Si $Z < Z_0$, $Ep(Z) < 0$.

II- Energie mécanique

1- Expression

Soit un système de masse m en mouvement de chute libre dans un champ de pesanteur.

Le travail du poids $\vec{P}$ du système se déplaçant de A à B est $W_{AB}(\vec{P}) = -\Delta Ep_{A\text{-}B}$.

D'après le théorème de l'énergie cinétique, $\Delta Ec_{A\text{-}B} = W_{AB}(\vec{P})$.

$\Longrightarrow$ $W_{AB}(\vec{P}) = -\Delta Ep_{A\text{-}B} = \Delta Ec_{A\text{-}B}$. $\quad -\Delta Ep_{A\text{-}B} = -Ep_B + Ep_A$ et $\Delta Ec_{A\text{-}B} = Ec_B - Ec_A$.

Donc $Ec_B + Ep_B = Ec_A + Ep_A = cste$ et appelée énergie mécanique et notée E_m.

L'énergie mécanique d'un système est égale à la somme des énergies cinétique et potentielle de ce système. $E_m = E_c + E_p$ et exprimée en joule.

2- Conservation de l'énergie mécanique

2.1- Force conservative

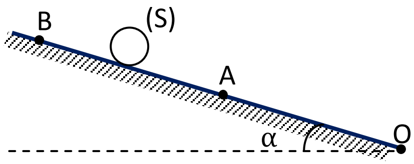
Une force est dite conservative, si le travail de cette force ne dépend pas du chemin suivi, mais de ses positions initiale et finale. C'est le cas travail du poids $\vec{P}$ d'un système de masse m, du travail de la force électrostatique $\vec{Fe}$ subit par une particule de charge q, … Ces forces sont dites conservatives.

2.2- Loi de conservation

Lorsqu'on soumet un système à l'action d'une force conservative, son énergie mécanique se conserve au cours de son évolution. $E_{m1} = E_{m2}$ et $\Delta E_m = 0$.

Application 1

Un solide (S) de masse m = 700g se déplace d'un point A à un point B suivant la ligne de plus grande pente d'un plan incliné d'un angle α par rapport à l'horizontale. Voir le schéma ci-contre.



On donne : OA = ℓ = 40cm ;
OB = ℓ'= 180cm ; α = 30° et g = 9,8 N/kg.

1. On choisit comme niveau de référence le point O.

1.1. Calculer son énergie potentielle de pesanteur au point A puis au point B.

1.2. Déterminer la variation ΔE_p de cette énergie au cours de ce déplacement.

2. Le niveau de référence est maintenant le point B.

2.1. Calculer les nouvelles valeurs de l'énergie potentielle de pesanteur au point A puis au point B.

2.2. Calculer la variation $\Delta E_p'$ de l'énergie potentielle du solide au cours de ce déplacement.

2.3. Que peut-on dire de la variation de l'énergie potentielle de pesanteur en comparant ΔE_p et $\Delta E_p'$?

3. Travail du poids et variation de l'énergie potentielle de pesanteur.

3.1. Calculer le travail du poids du solide (S) lors de son déplacement de A vers B.

3.2. Comparer ce travail à la variation de l'énergie potentielle de pesanteur au cours du même déplacement.

Correction de l'application 1

1. Energie potentielle de pesanteur (***Niveau de référence au point O***).

1.1. Au point A ; $E_{pA} = mgz_A = mgl\sin\alpha = 1{,}372J$; Au point B ; $E_{pB} = mgz_B = mgl'\sin\alpha = 6{,}174J$.

1.2. La variation de l' énergie potentielle de pesanteur ; $\Delta E_{ppAB} = E_{pB} - E_{pA}$

$\Delta E_{pAB} = mg(z_B - z_A) = 6{,}174 - 1{,}372 = 4{,}8J$

2. Energie potentielle de pesanteur (***Niveau de référence au point B***).

2.1. Au point A ; $E_{pA} = mgz'_A = -mg(l'-l)\sin\alpha = -4{,}8\ J$; en effet $z'_A = -(l'-l)\sin\alpha$

Au point B ; $E_{pB} = mgz'_B = 0$.

2.2. La variation de l'énergie potentielle de pesanteur ; $\Delta E'_{ppAB} = E'_{pB} - E'_{pA}$

$\Delta E'_{pAB} = mg(z'_B - z'_A) = 0 + 4{,}8 = 4{,}8J$

2.3. Conclusion : $\Delta E_{pAB} = \Delta E'_{pAB} = 4{,}8J$

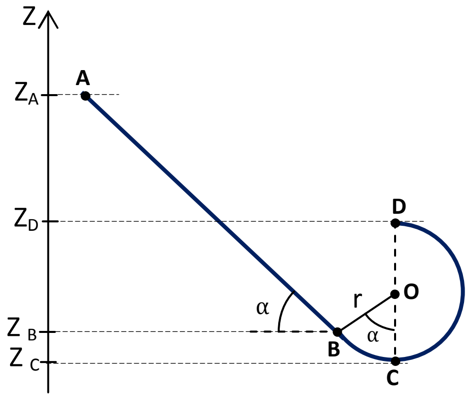
$\Longrightarrow$ La variation de l'énergie potentielle de pesanteur est indépendante du niveau de référence choisi.

3. Le travail du poids du solide ; $W_{AB}(\vec{P}) = mg(z_A - z_B) = -4{,}8J \Longrightarrow W_{AB}(\vec{P}) = -\Delta E_{ppAB}$.

Application 2

Une bille de masse m peut glisser sans frottement sur une piste ABCD.

- la partie AB est un plan incliné d'un angle α par rapport à l'horizontale.
- la partie CBD est circulaire de rayon r. Voir la figure ci-contre.



On donne : m = 0,5kg, r = 50cm, α = 60°.
AB = 200cm, g = 10N/kg.

1. Le niveau de référence pour les énergies potentielles est pris au point B

1.1. Donner l'expression des cotes Z_A, et Z_D. Calculer leur valeur.

1.2. En déduire la valeur des énergies potentielles de pesanteur Ep(A) et Ep(D) aux points A et D.

1.3. Calculer ΔEp, la variation de l'énergie potentielle de A à D.

2. Le niveau de référence pour les énergies potentielles est pris au point C

2.1. Donner l'expression des cotes Z'_A et Z'_D. Calculer leur valeur.

2.2. En déduire la valeur des énergies potentielles de pesanteur E'p(A) et E'p(D) aux points A et D.

2.3. Calculer ΔE'p, la variation de l'énergie potentielle de A à D.
Comparer ΔEp et ΔE'p. Que peut-on dire de la variation de l'Ep de pesanteur.

2.4. Calculer le travail de la bille lors de son parcours de A à D.

3. Calcul de vitesse

La bille part au point A sans vitesse initiale. Le niveau de référence pour les énergies potentielles est maintenu au point C.

3.1. Calculer l'énergie mécanique acquise par la bille au point B.

3.2. A l'aide du théorème de l'énergie cinétique, calculer la vitesse de la bille au point B.

3.3. On lance la bille au point A avec la vitesse v_A = 0,5m/s. Calculer sa vitesse respectivement aux points B et D.

Travaux dirigés

Pour tous ses exercices, prendre g=9,8N/kg.

Exercice 1

Une pierre de masse m = 400g est lancée vers le haut et atteint un point M d'altitude 20m.

1. Calculer l'énergie potentielle de pesanteur de la pierre au point M par rapport;

1.1. Au sol

1.2. Au fond d'un puits de profondeur 10m

2. La pierre est au fond du puits.
Calculer son énergie potentielle de pesanteur par rapport au sol.

Exercice 2

Un objet de masse m = 200g se déplace sur un axe horizontal, d'un mouvement de translation, à la vitesse v_o= 3m/s. Par suite des frottements, son mouvement se ralentit et sa vitesse prend la valeur v = 0,5m/s.

1. Calculer la variation de son énergie mécanique.
2. En déduire le travail des forces de frottement.
3. Que devient cette énergie dégradée ?

Exercice 3

En O, un palet aborde un plan OA incliné d'un angle $\alpha=15°$ sur le plan horizontal avec la vitesse $v_o=2{,}5m/s$. La longueur du plan incliné est OA = 1m. La masse du palet est m=500g.

1. Si l'on suppose qu'il n'y a pas de frottements, avec quelle vitesse v_A le palet arrive-t-il au point A ?

2. En réalité il y a des frottements et la vitesse au point A est $v'_A=0{,}8m/s$. Déterminer :

2.1. Le travail des forces de frottement.

2.2. En déduire l'intensité de la force de frottement appliquée au palet entre O et A.

Exercice 4

Une piste horizontale AB dont la longueur est L=1,5m, se termine par une position circulaire BC, de centre O, de rayon r = 2m et d'angle au centre $\alpha=50°$. On lance un solide de masse m=100g ; sa vitesse lorsqu'il passe au point A est $v_A=5m/s$

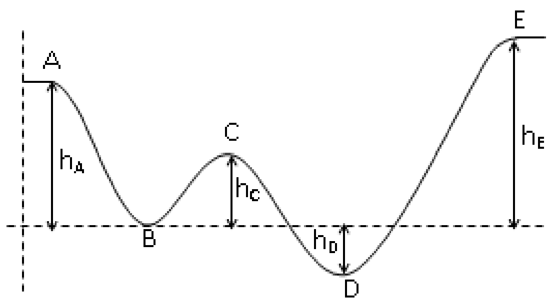
1. On pose $z_A=0$. Déterminer l'altitude du point C.

2. On néglige tous les frottements.
Déterminer la vitesse v_C du solide lorsqu'il arrive au point C.

3. On mesure la vitesse réelle $v'_C = 2{,}8m/s$.
Déterminer la valeur de l'énergie mécanique perdue par ces forces de frottement.

Exercice 5

Un jouet est constitué d'une voiturette pouvant glisser sans frottement le long d'une piste représentée sur la figure ci-dessous. Les positions de A, C et D sont représentées par les dénivellations h_A = 60cm, h_C = 40cm et h_D = 20cm par rapport au plan horizontal (P) passant par le point B. Le jouet reste constamment sur la piste.



1. Le jouet est abandonné sans vitesse initiale au point A.
Calculer sa vitesse aux points C et D.

2. Le point E est à la dénivellation h_E=80cm.

2.1. Le jouet pourra-t-il atteindre ce point ?

2.2. Si non, quelle vitesse minimale v_{Am} faut-il communiquer au jouet au point A pour qu'il puisse atteindre le point E ?

3. Lorsqu'on communique une vitesse $v_A=v_{Am}$ au jouet, quelle est sa vitesse au point E ?

4. Juste après le point E, le jouet tombe en chute libre.
Calculer sa vitesse au sol lorsqu'il traverse le plan (P).

Exercice 6

Un solide S de masse m=2kg descend un plan incliné d'une hauteur h=1m en partant sans vitesse initiale. Arrivé au bas du plan incliné il rencontre un plan rugueux horizontal où il est soumis à une force de frottements f = 6N.

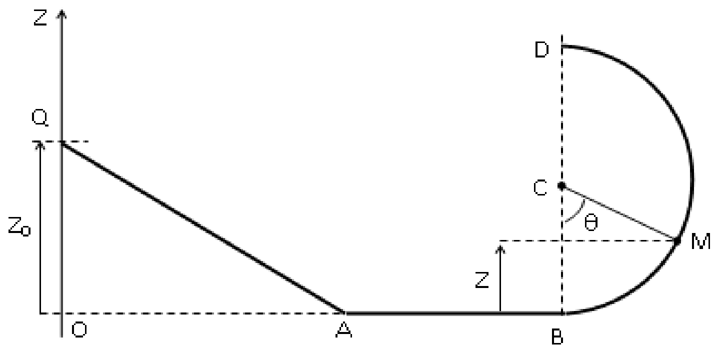
En C, il monte sur une surface courbe CD polie. La longueur du parcours BC est 2m.

1. Calculer la vitesse de S au point B, au point C.
2. A quelle hauteur H le solide S remonte-t-il sur la surface CD ?

Exercice 7

Un palet S, supposé ponctuel, posé sur la piste représentée ci-dessous peut glisser sans frottement sur cette piste, sa trajectoire restant dans un plan vertical.

La piste BD est un demi-cercle de centre C et de rayon r, B et D appartiennent au diamètre vertical. Les côtes Z sont mesurées à partir de celle prise comme origine. M étant un point de la trajectoire circulaire de cote z, on appelle θ l'angle $(\widehat{CB, CM})$. Du point Q de côte z_0 on lâche S sans vitesse initial.



On donne : z_0=1,5m ; z=0,5m ; m=300g ; et r =1,2m.

1. Enoncer le théorème de l'énergie cinétique
2. Exprimer de deux manières différentes la vitesse v_A de S lors de son passage en A en fonction de g et Z_0.
3. Montrer que le mouvement est rectiligne et uniforme sur le trajet AB
4. Exprimer la vitesse de S à son passage en M, en fonction de g, Z_0 et Z. Calculer sa valeur.
5. On prendra le point M comme la position de référence pour l'énergie potentielle de pesanteur de S au point D. Calculer la valeur de cette énergie.
6. Calculer l'angle θ.

Electrostatique

Titre du cours : **Espace champ électrostatique**

Objectifs spécifiques

- Mettre en évidence la force électrostatique entre deux charges ponctuelles.
- Définir la force électrostatique entre deux charges ponctuelles.
- Définir le vecteur champ électrostatique en fonction de la force électrostatique.
- Représenter le champ électrostatique crée en un point de l'espace par une charge ponctuelle.

Plan du cours

Voir cours

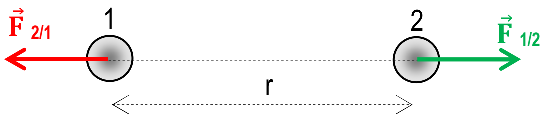
Espace champ électrostatique

I- Forces électrostatiques

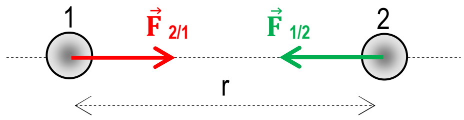
Mise en évidence

Toute charge électrique exerce une force à distance appelées forces électrostatiques sur toute autre charge placée en son voisinage.

Des charges de mêmes signes se repoussent et des charges de signes contraires s'attirent.



Les charges q_1 et q_2 des sphères 1 et 2 sont de mêmes signes



Les charges q_1 et q_2 des sphères 1 et 2 sont de signes contraires

Remarque

D'après la loi de Coulomb, la valeur de la force électrostatique $\vec{F}e$ qu'une charge ponctuelle q_1 exerce sur une autre charge ponctuelle q_2 située à la distance r de q_1 est ; $F_e = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{|q_1q_2|}{r^2}$. On pose $K = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 9.10^9$ SI (Nm²/C²) et $\varepsilon_0 = 8,854.10^{-12}$ SI (Farad/m) est la permittivité du vide.

*Cette expression est **hors programme de la classe de 1ère en Cote d'Ivoire**. On donnera la valeur numérique de la force électrostatique $\vec{F}e$ à l'élève pour les applications lorsque cela s'avère nécessaire.*

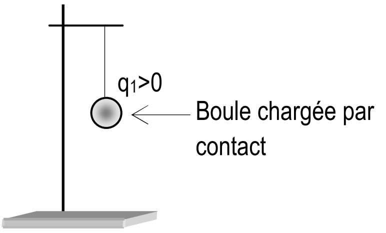
II- Vecteur champ électrostatique

1- Espace champ électrostatique

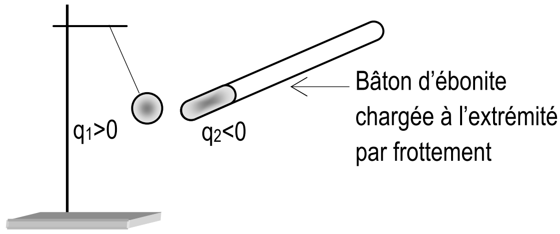
1.1- Mise en évidence

a/ Expériences et observations

Un pendule électrostatique est constitué un fin fil isolant auquel est attachée une petite boule très légère. Le pendule est accroché à une potence de sorte qu'il puisse être dévié dans tous les sens sous l'action d'une force électrostatique. Voir figure ci-dessous.



Il n'y a pas d'autre corps chargé au voisinage du pendule. Celui-ci reste dans sa position verticale. La boule est en équilibre sous l'action de son poids $\vec{P}$ et la tension $\vec{T}$ du fil.



Il y a un corps chargé au voisinage du pendule. Celui-ci est dévié de sa position verticale. La boule est en équilibre sous l'action de son poids $\vec{P}$, la tension $\vec{T}$ du fil et de la force électrostatique $\vec{F}e$.

b/ Conclusion

Lorsqu'on approche de la boule chargée $q_1>0$, le bâton d'ébonite chargé $q_2<0$, elle est soumise à une force électrostatique. Cet endroit de l'espace où est placée la charge q_1, qui a la propriété électrique d'attirer ou de repousser les charges électriques placées autour de la charge q_1, est appelée champ électrostatique. Le champ électrostatique créé au voisinage de la boule de charge q_1 est mis en évidence par le bâton d'ébonite chargé.

Autre méthode (champ $\vec{E}$ créé au sein d'un atome) voir la figure ci-dessous.

a/ Expériences et observations

Plaçons en un point O de l'espace une boule 1 de charge $q_1>0$. Approchons de la boule 1 la boule 2 de charge $q_2<0$.

Il y a une attraction entre les boules 1 et 2.

b/ Conclusion

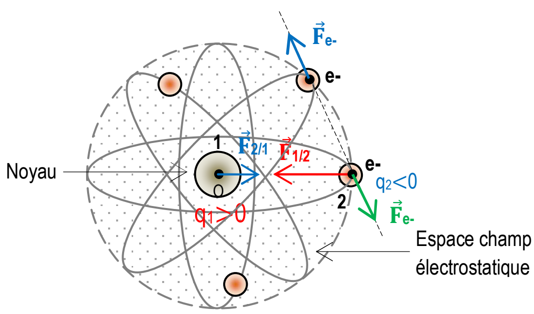
La boule 1 exerce la force électrostatique $\vec{F}_{1/2}$ sur la boule 2 (ou la boule 2 est soumise à la force $\vec{F}_{1/2}$ exercée par la boule 1).

Cet endroit de l'espace où est placée la boule 1, qui a la propriété électrique d'attirer la boule 2 placée autour d'elle, est appelée espace champ électrostatique.

Le champ électrostatique créé au voisinage de la boule 1 est mis en évidence par la boule 2.

1.2- Exemples

- Dans **les atomes**, chaque électron se déplace dans le champ électrostatique créé par le noyau (charge positive) et l'autre électron (cas de l'hélium) ou les autres électrons (charges négatives), à l'exception de l'atome d'hydrogène qui a un seul électron.



Espace champ électrostatique crée au sein d'un atome

- Dans **un fil conducteur connecté aux bornes d'un générateur de tension**, il règne un champ électrostatique, responsable des forces électrostatiques qui mettent les électrons en mouvement, et créent ainsi le courant électrique qui circule dans le fil.

2- Vecteur champ électrostatique $\vec{E}$

2.1- Définition

Une charge q est placée en un point M où règne un champ électrostatique. Elle subit la force électrostatique $\vec{F}e$ qui dépend du signe et de la valeur de la charge q.

Plaçons successivement les charges q_i en M_i. On a $\frac{\vec{F}e_1}{q_1} = \frac{\vec{F}e_2}{q_2} = \frac{\vec{F}e_3}{q_3} = \ldots = \vec{E}$ qui est un vecteur constant. Le vecteur $\vec{E}$ est appelé le vecteur champ électrostatique.

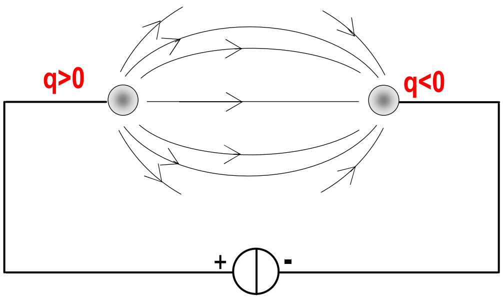
2.2- Caractéristiques

- Point d'application : le point M considéré.
- Direction : les vecteurs $\vec{E}$ et $\vec{F}e$ sont colinéaires.
- Sens : les vecteurs $\vec{E}$ et $\vec{F}e$ ont le même sens si la charge q est positive et sont de sens contraires lorsque q est négative.
- Valeur : $E = \frac{Fe}{|q|}$ avec Fe (en N), q (en C) et E (en V/m).

3- Ligne champ électrostatique

3.1- Visualisation de lignes de champ

Voir la figure ci-contre.



3.2- Définition

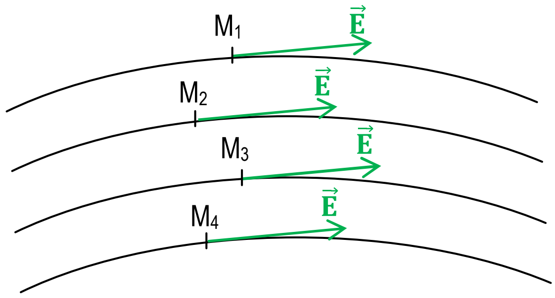
On appelle ligne de champ, une ligne qui, en chacun de ses points, est tangent au vecteur champ électrostatique $\vec{E}$ en ce point.

Conséquences

- Les lignes de champ ne se coupent jamais et sont orientées dans le sens du vecteur champ électrostatique $\vec{E}$.
- Les lignes de champ sont toujours dirigées vers le potentiel le plus bas.

3.3- Spectre électrostatique

Un spectre électrique est un ensemble de ligne de champ.



III- Quelques exemples de champ électrostatique

1- Champ électrostatique crée par une charge ponctuelle

Donnons les caractéristiques du vecteur champ électrostatique $\vec{E}$ en un point M quelconque créé par la charge source q_1 placée en O, à la distance r de M.

On place en M une charge q_2 positive.

- Point d'application ; le point M considéré
- Direction ; la droite (OM)
- Sens (deux cas possibles) ;

a/ Si la charge source q_1 est positive, le champ $\vec{E}$ est centrifuge (ou divergent).

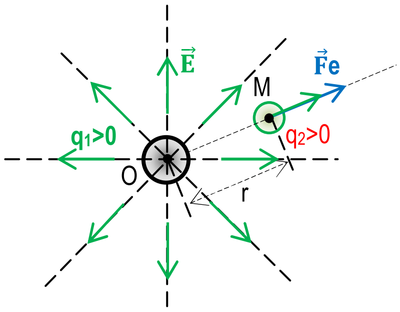
Le vecteur $\vec{E}$ « fuit » le point O où est placée la source la source q_1.

b/ Si la charge source q_1 est négative, le champ $\vec{E}$ est centripète (ou convergent).

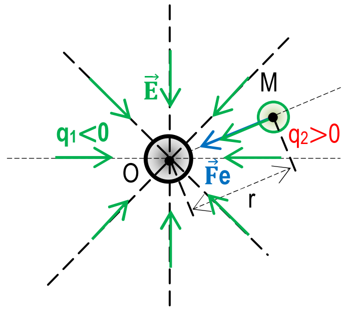
Le vecteur $\vec{E}$ « est dirigé vers » le point O où est placée la source q_1.

-Valeur ; $E = \frac{Fe}{|q|}$ avec Fe (en N), q (en C) et E (en V/m), connaissant la valeur de la force $\vec{Fe}$.

Représentation des vecteurs champ $\vec{E}$.



Champ $\vec{E}$ centrifuge (ou divergent)



Champ $\vec{E}$ centripète (ou convergent)

Remarque

D'après la loi de Coulomb, la valeur de la force électrostatique $\vec{F}e$ qu'une charge ponctuelle q_1 exerce sur une autre charge ponctuelle q_2 située à la distance r de q_1 est ;

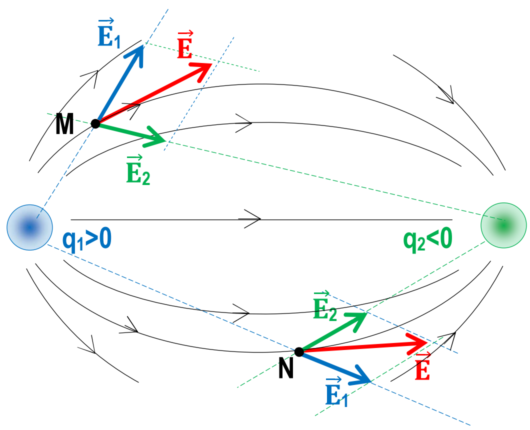
$F_e = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{|q_1 q_2|}{r^2}$. On pose $K = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 9.10^9$ SI (Nm^2/C^2) et $\varepsilon_0 = 8{,}854.10^{-12}$ SI (Farad/m) est la permittivité du vide.

Or $Fe = |q_2|\ E$ donc $E = K\frac{|q_1|}{r^2}$.

*Cette expression est **hors programme de la classe de 1ère en Cote d'Ivoire**. On donnera la valeur numérique du champ électrostatique $\vec{E}$ à l'élève pour les applications lorsque cela s'avère nécessaire.*

2- Champ électrostatique crée par deux charges ponctuelles

Le champ électrostatique $\vec{E}$ créé par les sphères S_1de charge q_1 positive et S_2 de charge q_2 négative, au point M résulte de la superposition des champs électrostatiques $\vec{E}_1$ créé par la charge q_1 et $\vec{E}_2$ créé par la charge q_2 en M. $\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$.



Application 1

Trois charges ponctuelles +q, -q et -q sont placées aux sommets A, B et C d'un triangle équilatéral de côté a.

Une charge ponctuelle q crée au centre O du triangle, un champ électrique $\vec{E}_0$ d'intensité $E_O = 9.10^9 . \frac{q}{a}$ exprimée Volt/mètre.

1. Faire le schéma et placer les charges +q, -q et -q aux points A, B et C.
2. Calculer la valeur de E_0.
3. Déterminer les caractéristiques (direction, sens et valeur) du champ électrostatique régnant au centre du triangle. Application numérique : q = 0,1nC et a = 10 cm.

Application 2

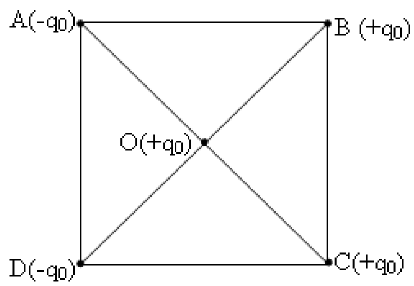
Soit un carré ABCD. On place les charges $-q_0$, q_0, q_0 et $-q_0$ respectivement en A, B, C, D.

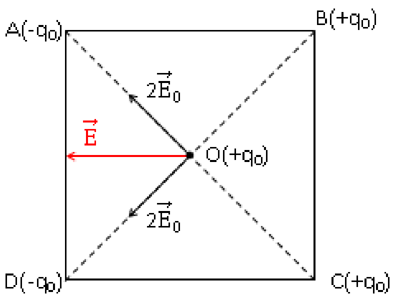
Une charge q_0 crée au centre O du carré, un champ électrique $\vec{E}_0$ d'intensité $E_O = 900V/m$.

1. A l'aide d'un schéma, déterminer les caractéristiques (direction, sens et valeur) du vecteur champ électrostatique $\vec{E}$ créé au point O par cette distribution de charges.
2. On place l'ion O^{2-} au point O.

Donner les caractéristiques (direction, sens et valeur) de la force $\vec{F}_e$ qui s'exerce sur cet anion.

On donne : la charge élémentaire $e = 1{,}6.10^{-19}C$.





Résolution de l'application 2

1. Les caractéristiques du vecteur champ $\vec{E}$

$\vec{E} = \vec{E}_A + \vec{E}_B + \vec{E}_C + \vec{E}_D$.

Direction : $\vec{E}$ est parallèle à (AB); sens : de B vers A;

valeur : $E = 2\sqrt{2}.E_O = 2{,}545.10^3 V/m$.

2. le vecteur $\vec{F}_e = q\vec{E}$ et $q = -2e<0$.

Direction : celle de $\vec{E}$; sens : contraire de celui de $\vec{E}$;

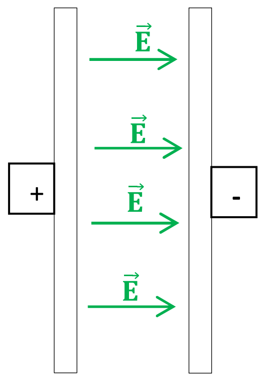
valeur : $F_e = 2eE = 8{,}144.10^{-16}N$.

3- Champ électrostatique $\vec{E}$ uniforme

Un condensateur est constitué de deux plaques parallèles rapprochées. Lorsque le condensateur est chargé, l'une des plaques porte une charge positive et l'autre, une charge négative, de même valeur absolue.

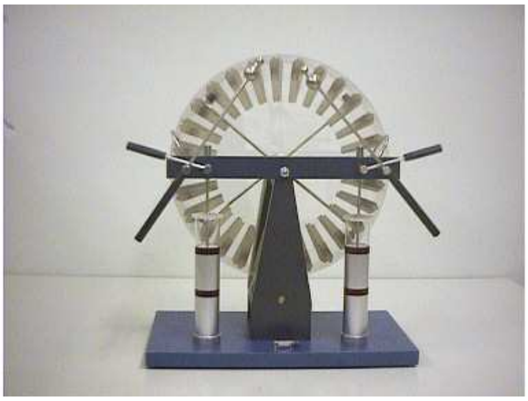
A l'exception des bords des plaques (armatures) d'un condensateur, le champ électrostatique $\vec{E}$ créé à l'intérieur d'un condensateur est uniforme (même direction, même sens et même valeur en tout point M considéré).

Le champ électrostatique $\vec{E}$ est perpendiculaire aux armatures et dirigé vers les potentiels décroissants.



Un peu d'histoire de la science

***Coulomb, Charles Augustin** de (1736-1806), physicien français connu pour ses recherches en électrostatique et magnétisme.*
Né d'une famille noble à Angoulême, Charles Augustin de Coulomb a d'abord le désir de devenir mathématicien. Admis à l'école du génie de Mézière, il mène alors une carrière d'ingénieur militaire, participant à la construction du fort Bourbon aux Antilles. Revenu en France en 1772, il est élu en 1781 à l'Académie des sciences pour sa théorie des frottements. Il devient ensuite intendant des Eaux et Fontaines en 1784. À la Révolution, il abandonne ses diverses activités administratives, mais est nommé, peu avant sa mort, inspecteur général de l'Instruction publique en 1802.
Les premiers travaux de Coulomb concernent l'étude des contraintes mécaniques et des frottements. Il entreprend également des expériences sur l'élasticité et la torsion des fils. En 1777, il invente la balance de torsion, qui permet de mesurer la force de répulsion des charges électriques de même signe. En 1785, cette balance lui permet d'énoncer plus généralement la loi d'attraction et de répulsion électriques, aujourd'hui connue sous le nom de loi de Coulomb (voir Électricité). En 1789, il introduit la notion de moment magnétique, fondamentale en magnétisme. Son nom reste attaché à l'unité mesurant la quantité de charge électrique, le coulomb.



Machine de Whimshurst et le spectre électrique créé par celle-ci.

Travaux dirigés

Pour tous exercices, prendre g = 9,81N/kg.

Exercice 1

La boule d'un pendule électrostatique a une masse m = 3g et une charge q = 1µC.

Le pendule est écarté de sa position verticale d'un angle α = 10° dans un champ électrostatique $\vec{E}$ uniforme et horizontal.

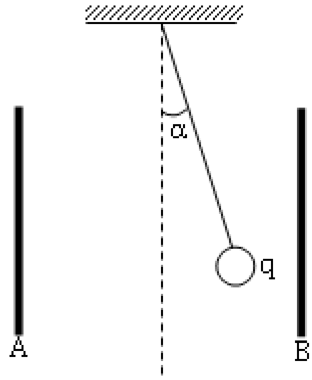
1. Faire un schéma et représenter les forces extérieures qui s'exercent sur la boule à l'équilibre.
2. Donner les caractéristiques du vecteur champ électrostatique $\vec{E}$ qui agit sur le pendule.
3. La boule précédente est remplacée par une autre de masse m et de charge q = -2µC.

Le pendule est écarté de la verticale d'un angle θ = 8°.

3.1. Représenter le vecteur champ électrostatique $\vec{E}$ qui agit sur la boule.

3.2. Déterminer la masse m du pendule.

Exercice 2

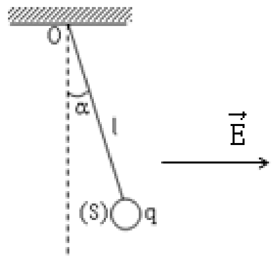


Placé dans un champ électrostatique uniforme et horizontal, un pendule électrostatique porte une boule, de dimensions négligeables et de masse m = 2g.

Le fil s'écarte d'un angle α = 15° de la verticale.

1. Calculer l'intensité de la force électrostatique $\vec{F}_e$.
2. Déterminer les caractéristiques du champ électrostatique $\vec{E}$ sachant que q = -0,8μC.
3. Quel est le signe de la tension U_{AB} ?
4. Déterminer la distance séparant les deux plaques métalliques A et B sachant que $|U_{AB}|=10^3$V.
5. Que devient l'angle α si q = 1μC ? Prendre g = 10 N/kg.

Exercice 3



Une petite sphère S est attachée au point O par un fil isolant de masse négligeable et de longueur l = 40cm. La sphère, de masse m = 5.10^{-2}g, porte la charge q.

1. On la soumet à un champ électrostatique $\vec{E}$, horizontal, orienté comme l'indique la figure. Le fil s'incline d'un angle α = 10° par rapport à la verticale. En déduire la valeur de la charge électrique q, l'intensité du champ électrostatique est E = 10^3V/m.
2. On superpose au champ électrostatique $\vec{E}$ précédent, un autre au champ électrostatique $\vec{E}'$, vertical. Quels doivent être le sens et l'intensité du champ $\vec{E}'$ pour que le fil s'incline sur la verticale d'un angle θ=20°?
3. Quelle serait l'inclinaison β du fil si l'on changeait le sens de $\vec{E}'$ sans modifier son intensité ?

Titre du cours : **Energie potentielle électrostatique**

Objectifs spécifiques

- Calculer le travail de la force électrostatique dans un champ uniforme.
- Définir la différence de potentielle entre deux points d'un champ uniforme.
- Définir l'énergie potentielle électrostatique.

Plan du cours

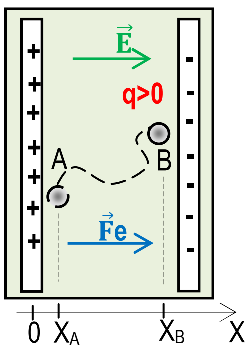
Voir cours

Energie potentielle électrostatique

I- Travail de la force électrostatique dans un champ électrostatique uniforme

1- Expression

Une sphère S de charge q est en mouvement dans un champ électrostatique $\vec{E}$ uniforme créé entre les armatures d'un condensateur. Donnons l'expression du travail effectué par la sphère au cours de son déplacement de A à B selon le signe de la charge q.

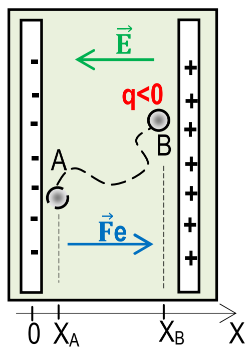


La sphère S de charge q positive est attirée par l'armature de charge négative. Le travail effectué par la sphère au cours de ce déplacement de A à B est ; $W_{A\text{-}B}(\vec{Fe}) = \vec{Fe}.\overrightarrow{AB}$

$\vec{Fe} = q\vec{E}$ et dans le repère (OX), on a :

$\vec{E} = E\,\vec{i}$ et $\overrightarrow{AB} = (X_B - X_A)\,\vec{i}$

$\Longrightarrow$ $\mathbf{W_{A\text{-}B}(\vec{Fe}) = \vec{Fe}.\overrightarrow{AB} = qE(X_B - X_A)}$



La sphère S de charge q négative est attirée par l'armature de charge positive. Le travail effectué par la sphère au cours de ce déplacement de A à B est ; $W_{A\text{-}B}(\vec{Fe}) = \vec{Fe}.\overrightarrow{AB}$

$\vec{Fe} = q\vec{E}$ et dans le repère (OX), on a :

$\vec{E} = -E\,\vec{i}$ et $\overrightarrow{AB} = (X_B - X_A)\,\vec{i}$

$\Longrightarrow$ $\mathbf{W_{A\text{-}B}(\vec{Fe}) = \vec{Fe}.\overrightarrow{AB} = -qE(X_B - X_A)}$

2- Généralisation

Le travail de la force électrostatique $\vec{Fe}$ créée par une particule de charge q, se déplaçant d'un point A vers un point B, dans un champ électrostatique $\vec{E}$ uniforme est ; $W_{A\text{-}B}(\vec{Fe}) = \vec{Fe}.\overrightarrow{AB} = q\vec{E}.\overrightarrow{AB}$.

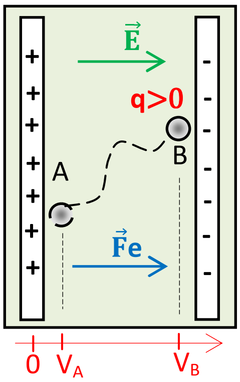
Remarque

Le travail de la force électrostatique $\vec{F}e$ ne dépend pas du chemin suivi mais des positions initiale et finale. La force électrostatique $\vec{F}e$ est une force constante.

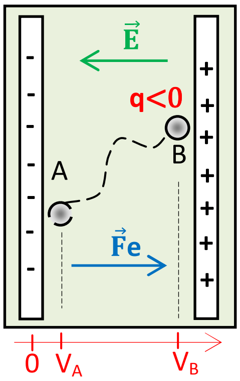
II- Différence potentiel entre deux points A et B situés dans un champ électrostatique uniforme

1- Expression

Une sphère S de charge q est en mouvement dans un champ électrostatique $\vec{E}$ uniforme créé entre les armatures d'un condensateur. Donnons l'expression du travail effectué par la sphère au cours de son déplacement de A à B selon le potentiel des points A et B.



La sphère S de charge q positive est attirée par l'armature de charge négative. Le travail effectué par la sphère au cours du déplacement de A à B est ; $W_{A\text{-}B}(\vec{F}e) = q(V_A - V_B) = qU_{AB}$



La sphère S de charge q positive est attirée par l'armature de charge négative. Le travail effectué par la sphère au cours du déplacement de A à B est ; $W_{A\text{-}B}(\vec{F}e) = -q(V_A - V_B) = -qU_{AB}$

Le travail de la force électrostatique $\vec{F}e$ créée par une particule de charge q, se déplaçant d'un point A vers un point B, dans un champ électrostatique $\vec{E}$ uniforme est ;

$W_{A\text{-}B}(\vec{F}e) = q\vec{E}.\overrightarrow{AB} = |q|U_{AB}$. Donc $U_{AB} = V_A - V_B = \vec{E}.\overrightarrow{AB}$.

2- Généralisation

La différence de potentiel (ou ddp) entre deux points A et B situés dans un champ électrostatique $\vec{E}$ uniforme, notée $V_A - V_B$ est égale au produit scalaire $\vec{E}.\overrightarrow{AB}$.

$U_{AB} = V_A - V_B = \vec{E}.\overrightarrow{AB}$.

3- Conséquences

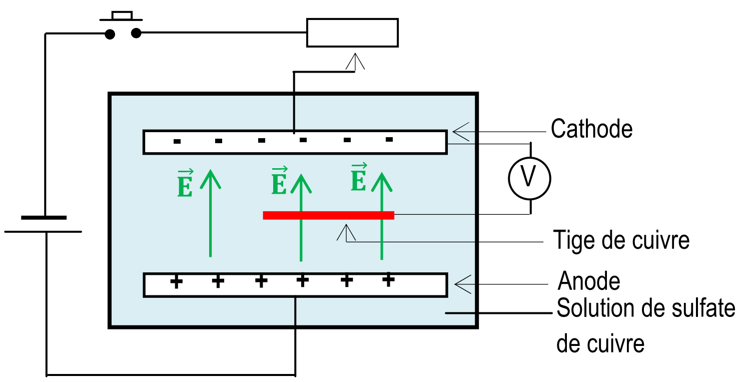
- Si $\vec{E}$ et $\overrightarrow{AB}$ sont perpendiculaires, $U_{AB} = 0$.
- Si $\vec{E}$ et $\overrightarrow{AB}$ sont colinéaires et de même sens, $U_{AB} > 0$.
- Si $\vec{E}$ et $\overrightarrow{AB}$ sont colinéaires et de sens contraires, $U_{AB} < 0$.

4- Surfaces équipotentielles

4.1- Schéma du montage et expérience

A l'aide du schéma du montage ci-dessous,

- On maintient la tige de cuivre parallèle aux électrodes et on lit le potentiel électrique en des points différents.
- On répète la même opération en disposant la tige de cuivre perpendiculaire aux électrodes.



4.2- Observations et interprétations

- Sur une ligne perpendiculaire aux lignes de champ électrostatique $\vec{E}$ (ou parallèle aux électrodes), le potentiel électrique reste constant.

Les points situés sur des lignes perpendiculaires aux lignes de champ électrostatique $\vec{E}$ sont au même potentiel électrique. Ce sont des lignes équipotentielles.

- Sur une ligne de champ électrostatique $\vec{E}$, le potentiel électrique diminue de la anode vers la cathode.

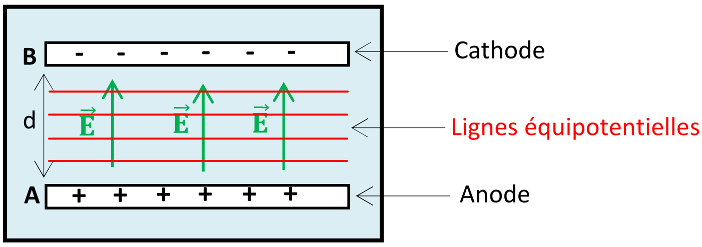
Le champ électrostatique $\vec{E}$ est orienté dans le sens des potentiels décroissants.

4.3- Conclusion

Les lignes perpendiculaires aux lignes de champ électrostatique $\vec{E}$ sont des lignes équipotentielles. Un ensemble de lignes équipotentielles constitue une surface équipotentielle.

4.4- Conséquences

- Soient deux points M et N d'une surface équipotentielle, on a : $V_M - V_N = \vec{E}.\overrightarrow{MN} = 0$ car $\vec{E}$ et $\overrightarrow{MN}$ sont perpendiculaires. $U_{MN} = 0$ et $V_M = V_N$.



- Soient deux points A et B d'un champ électrostatique $\vec{E}$ uniforme situés respectivement à l'anode et à la cathode. On a : $V_A - V_B = \vec{E}.\overrightarrow{AB} = E.d$ car $\vec{E}$ et $\overrightarrow{AB}$ sont colinéaires et de mêmes sens. $|U_{AB}| = E.d$ et $E = \frac{|U_{AB}|}{d}$. E (en V/m), U_{AB} (en Volt) et d (en mètre).

III- Energie potentielle électrostatique d'une particule charge q placée dans un champ électrostatique uniforme

1- Expression

Le travail de la force électrostatique $\vec{F}e$ créée par une particule de charge q, se déplaçant d'un point A vers un point B, dans un champ électrostatique $\vec{E}$ uniforme est ;

$W_{A-B}(\vec{F}e) = q\vec{E}.\overrightarrow{AB} = |q|U_{AB}$. Donc $W_{A-B}(\vec{F}e) = qU_{AB} = qV_A - qV_B$.

On définit l'énergie potentielle électrostatique en un point M au potentiel électrique V de l'espace champ électrostatique $\vec{E}$ uniforme par ; $Epe = qV + cste$.

En prenant le potentiel électrique de l'état de référence V_0 nul, $Epe = qV$. Epe (en Joule), q (en Coulomb) et V (en Volt).

Remarque

L'énergie s'exprime aussi en électron-volt (eV). $1eV = 1,6.10^{-19}J$. $1MeV = 10^3$ eV.

2- Variation de l'énergie potentielle électrostatique d'une particule charge q

Une particule de charge, placée dans un champ électrostatique $\vec{E}$ uniforme se déplace d'un point A au potentiel V_A à un point B au potentiel V_B. On suppose que la particule est uniquement soumise à l'action de la force électrostatique $\vec{F}e$.

Evaluons le travail de la force électrostatique $\vec{F}e$ au cours de ce déplacement.

$W_{A-B}(\vec{F}e) = qU_{AB} = qV_A - qV_B = Epe_A - Epe_B$. Or $W_{A-B}(\vec{F}e) = Ec_B - Ec_A$.

Donc $Epe_A - Epe_B = Ec_B - Ec_A$. $\Longrightarrow \Delta Epe_{AB} = -\Delta Ec_{AB}$.

IV- Conservation de l'énergie mécanique d'une particule charge q placée dans un champ électrostatique uniforme

D'après ce qui précède, $W_{A\text{-}B}(\vec{F}e) = qU_{AB} = qV_A - qV_B = Epe_A - Epe_B$.

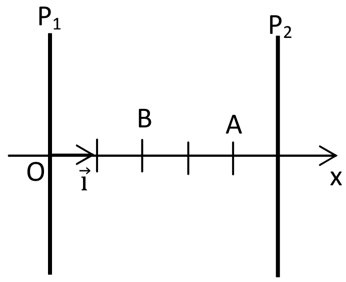
Or $W_{A\text{-}B}(\vec{F}e) = Ec_B - Ec_A$. Donc $Epe_A - Epe_B = Ec_B - Ec_A$. $\Longrightarrow Epe_A + Ec_A = Epe_B + Ec_B$.

$Em_A = Em_B$ donc $\Delta Em_{AB} = 0$.

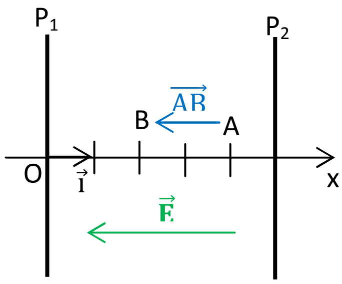
L'énergie mécanique de la particule de charge q se déplaçant dans un champ électrostatique $\vec{E}$ uniforme se conserve.

Application 1

On maintient une différence de potentiel de 10^3 V entre deux plaques conductrices identiques, parallèles P_1 et P_2, distantes de 5cm. Une charge $q = 10^{-12}$C se déplace entre les deux plaques d'un point A situé à 1cm de la plaque chargée positive à un point B situé à 2cm de la plaque chargée négative. Voir la figure ci-contre.



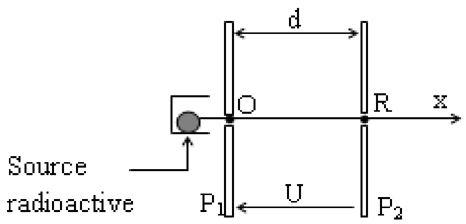
1. Représenter le champ $\vec{E}$ supposé uniforme créé entre les plaques P_1 et P_2. Calculer sa valeur.
2. Quelle est la valeur de la tension U_{AB} ?
3. On choisit comme la référence des potentiels, la plaque chargée négative.
Calculer l'énergie potentielle de la charge q en A, puis en B, en joule et en eV (électron-volt).
4. Quel est le travail de la force électrostatique qui s'exerce sur la charge q lorsqu'elle se déplace de A à B ?



Résolution

1. Voir la figure. $E = U/d = 2.10^4$ V/m.
2. La tension $U_{AB} = \vec{E}.\overrightarrow{AB} = -2.E = -4.10^4$ V.
3.
L'énergie potentielle $Ep_A = qV_A = -4qE = -8.10^{-8}$ J $= -5.10^{11}$ eV.
L'énergie potentielle $Ep_B = qV_B = -2qE = -4.10^{-8}$ J $= -2{,}5.10^{11}$ eV.
4. Le travail de la force $\vec{F}e$
$W(\vec{F}e) = qU_{AB} = -2qE = -4.10^{-8}$ J.

Application 2



Une particule α (^4_2He) produite par une source radioactive, est émise au voisinage du point O avec une vitesse négligeable.

1. Quelle tension $U = U_{P1P2}$ faut-il appliquer entre les plaques P_1 et P_2, distantes de d = 20cm, pour que la particule α traverse la plaque P_2 en R, à la vitesse $v = 10^3$km/s.
2. Calculer la vitesse de la particule à mi-chemin entre O et R.
3. Donner les caractéristiques du champ électrostatique $\vec{E}$ uniforme entre les plaques.
4. Quelle est, en joule (J) puis en électron-volts (eV), l'énergie cinétique de la particule à son passage en au point R?
5. Calculer le potentiel d'un point situé à 5cm, 12cm et 20cm du point O.
6. En déduire l'énergie potentielle électrostatique d'une particule α en ces points. Données : $m = 6{,}6.10^{-27}$kg, $q = 2e = 3{,}2.10^{-19}$C.

Travaux dirigés

Exercice 1

Une particule de charge $q = -10^{-12}C$ est accélérée dans un champ électrostatique uniforme $\vec{E}$. Initialement au repos au point A, elle acquiert l'énergie cinétique $E_C = 10^{-10}J$ au point B après avoir parcouru la distance d = 5cm. Calculer la valeur de la tension U_{AB} et l'intensité du champ électrostatique.

Exercice 2 *On donne : AB = 2cm.*

Un champ électrostatique uniforme est caractérisé par un vecteur champ $\vec{E}$ vertical, dirigé vers le bas, d'intensité $2,5.10^3V/m$. Les points A, B, C et D sont les sommets d'un rectangle avec $\overrightarrow{AB}$ colinéaire à $\vec{E}$ et de même sens. Calculer $V_A - V_B$, $V_D - V_C$, $V_A - V_D$.

Exercice 3 *On donne : AB = 15cm.*

Une charge $q = 10^{-7}C$ se déplace en ligne droite, de A vers B dans champ électrostatique uniforme $\vec{E}$ d'intensité E=600V/m, tel que $(\overrightarrow{AB} ;\vec{E}) = 30°$. Calculer :

1. Le travail de la force $\vec{F}e$ qui s'exerce sur la charge q au cours du déplacement AB ;
2. La valeur de la tension U_{AB}.

Exercice 4

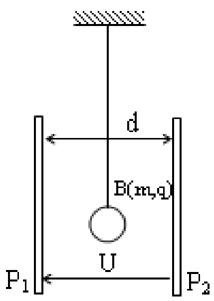
1. Un électron de masse $m_e=9,1.10^{-31}kg$ passe d'un point A (V_A=10V) à un point B (V_B=100V).

1.1. Calculer le travail de la force électrostatique qui lui est appliquée.

1.2. Cet électron a initialement en A une vitesse de $10^5m/s$. Quelle est sa vitesse en B ?

2. Un proton de masse $m_p=1,67.10^{-27}kg$ se déplace d'un point A au potentiel V_A = 10V à un point B au potentiel V_B = 50V. Sa vitesse initiale en A est égale à $1,2.10^5m/s$.
Quelle est sa vitesse en B?

Exercice 5



Un pendule électrique, dont la boule B est une sphère isolante de masse m = 0,2g, portant la charge $q = 2.10^{-8}C$, est suspendu entre deux plaques métalliques verticales P_1 et P_2 distances de d=20 cm.

1. On établit la tension $U = U_{P1P2} = 4.10^3V$ entre les plaques métalliques verticales P_1 et P_2 de manière à créer entre celles-ci un champ électrostatique $\vec{E}$ uniforme.

Quels sont la direction, le sens et l'intensité du champ électrostatique $\vec{E}$ si le pendule ne perturbe pas celui-ci ?

2. Faire un schéma montrant l'inclinaison subie par le pendule et calculer l'angle α entre le fil et la verticale lorsque l'équilibre est atteint.

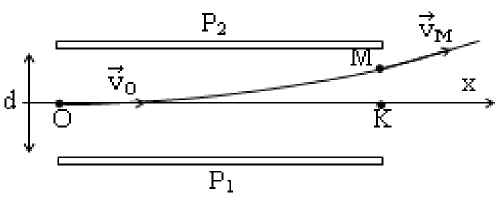
3. Le pendule est déplacé horizontalement, vers la plaque P_2, sur une distance AB=*l*=2cm à partir de la position d'équilibre précédente.

Calculer le travail $W(\vec{F}_e)$ de la force électrostatique $\vec{F}_e$ qui s'exerce sur la boule pendant ce déplacement.
Prendre g=10N/kg.

Exercice 6 On donne : m_e=9,1.10^{-31}kg ; la charge de l'électron : -e=-1,6.10^{-19}C et g=9,81N/kg.

Ce problème étudie de façon très simple la déviation d'un faisceau d'électrons par des plaques déflectrices P_1 et P_2, horizontales, dans un tube cathodique où règne le vide.

Les électrons pénètrent en O entre plaques métalliques horizontales P_1 et P_2 distantes de d=6cm au point O à la vitesse v_O=10^{7}m/s et ressortent au point M.



1. On établit entre les plaques la tension U=U_{P2P1}=600V. Quels sont la direction, le sens et l'intensité du champ électrostatique $\vec{E}$ supposé uniforme entre les plaques?

2. Donner les caractéristiques (direction, sens et intensité) de la force électrostatique $\vec{F}_e$ qui agit sur un électron.

3. Comparer la force électrostatique $\vec{F}_e$ au poids d'un électron.

Peut-on négliger le poids d'un électron devant la force électrostatique $\vec{F}_e$ qui lui est appliquée ?

4. Justifier le sens de la déviation observée.

5. L'axe (Ox) pénètre dans le champ électrostatique $\vec{E}$ en O et en ressort en K.

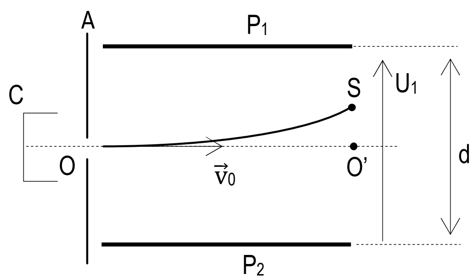
5.1. Montrer que la ddp V_O-V_K =0.

5.2. Calculer la ddp V_M-V_K sachant que MK = 1,3cm. En déduire la valeur de la ddp V_O-V_M.

6. En appliquant le théorème de l'énergie cinétique à un électron entre les points O et M, calculer sa vitesse v_M à sa sortie du champ au point M.

Exercice 7

Dans un canon à électrons d'un oscilloscope (voir schéma ci-contre), les électrons sortent de la cathode C avec une vitesse pratiquement nulle, sont accélérés par une tension U_{AC} = 1600V appliquée entre la cathode C et l'anode A.



1. donner le signe et représenter la tension U_{AC} appliquée entre C et A.

2. calculer l'énergie cinétique E_{CA} des électrons à la traversée de l'anode A en joule (J). Exprimer le résultat en électron-volt (eV).

3. en déduire la vitesse v_A correspondante à celle énergie.

4. Les électrons pénètrent, avec la vitesse V_A, entre les plaques de déviation verticale P_1 et P_2, en un point O situé à égale distance de chacune d'elles.

Lorsque la tension U_1=600V est appliquée à ces plaques distantes de d=6cm, les électrons sortent de l'espace champ $\vec{E}$ en un point S tel que O'S = 2,5cm.

On prend l'origine des potentiels V_0 = 0 au point O.

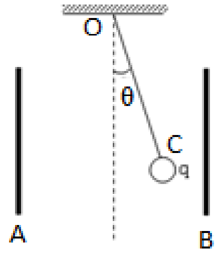
4.1. Donner les caractéristiques du champ $\vec{E}$ et celles de la force $\vec{F}_e$ qui agissent sur un électron.

4.2. Calculer à la sortie des plaques au point S ; le potentiel V_S, l'énergie potentielle électrostatique E_{PS} d'un électron et sa vitesse v_S.

On donne : m_e=9,1.10^{-31}kg ; la charge de l'électron : -e=-1,6.10^{-19}C.

Exercice 8

On considère un pendule simple constitué par un fil inélastique OC de longueur l=40cm et de masse négligeable. L'extrémité O est fixe, l'autre C supporte une petite bille en cuivre assimilable à un point matériel de masse m=1g. Prendre g=10N/kg.



Le pendule est placé entre deux plaques métalliques A et B, planes, verticales, parallèles, séparées par une distance d.

La bille porte une charge une charge q positive. Les plaques A et B sont reliées aux bornes d'un générateur de tension continue. On écarte le pendule d'un angle θ vers la plaque B. Voir la figure ci-dessus.

On donne : $U=2{,}5.10^4 V$; d=20cm ; θ=14°.

1. Représenter la tension U_{AB} et donner son signe.

Donner la polarité des plaques métalliques A et B.

2. Exprimer la charge q de la bille en fonction de m, θ ; d ; U_{AB} et g. Calculer sa valeur.

3. Le pendule passe de sa position initiale G_1 à sa position d'équilibre G_2.

3.1. Exprimer en fonction de q ; θ ; d ; l et U_{AB} le travail de la force électrostatique au cours de ce déplacement.

3.2. Faire l'application numérique.

3.3. Calculer la différence de potentiel $U'=V_{G1}-V_{G2}$ entre les positions G_1 et G_2.

4. Calculer la variation de l'énergie potentielle de pesanteur de la bille.

5. En déduire la variation de l'énergie potentielle électrostatique de la bille.

Electricité

Titre du cours : **Puissance et énergie électriques**

Objectifs spécifiques

- Appliquer la loi d'ohm à des récepteurs et à des générateurs.
- Appliquer l'expression de la puissance et de l'énergie électriques reçues ou fournies par un dipôle.
- Définir les rendements d'un générateur, d'un récepteur et d'un circuit.

Plan du cours

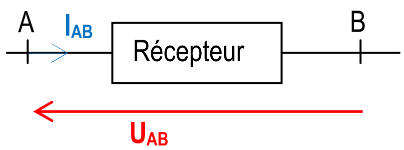
Voir cours

Puissance et énergie électriques

I- Echanges énergétiques dans un dipôle passif

1- Convention récepteur

Dans un circuit ne comportant que des récepteurs, le courant électrique circule dans le sens des potentiels décroissants.



Remarque

Un dipôle est un composant électrique qui a deux bornes. En circuit ouvert la tension aux bornes d'un dipôle passif est nulle.

C'est le cas du conducteur ohmique, de lampe à incandescence, moteur électrique, …

2- Energie électrique reçue par un dipôle passif

Pendant un temps t, si un électron de charge q = -e qui entre en un point A (au potentiel A) et qui sort au point B (au potentiel B), l'énergie potentielle diminue.

Cette énergie perdue par le mouvement des charges, les électrons, se dissipe dans le dipôle et elle représente l'énergie reçue par le dipôle pendant le temps t.

$E_{reçue} = |q|(V_A - V_B) = |q|U_{AB} = It.U_{AB}$. $\Longrightarrow$ $E_{reçue} = It.U_{AB}$.

$E_{reçue}$ (en Joule), I (en Ampère), t (en seconde).

Remarque $|q| = n.e = It$.

3- Puissance électrique reçue par un dipôle passif

En régime continu, la puissance reçue par un dipôle passif pendant un temps t est ;

$\mathcal{P}_{reçue} = \frac{E_{reçue}}{t} = UI$. $\Longrightarrow$ $\mathcal{P}_{reçue} = UI$. $\mathcal{P}_{reçue}$ (en Watt), U (en Volt), I (en Ampère).

4- Etude de quelques récepteurs

4.1- Le conducteur ohmique

Un conducteur ohmique est un dipôle passif, symétrique et linéaire. Sa caractéristique intensité - tension est une droite passant par l'origine des axes (OX, OY).

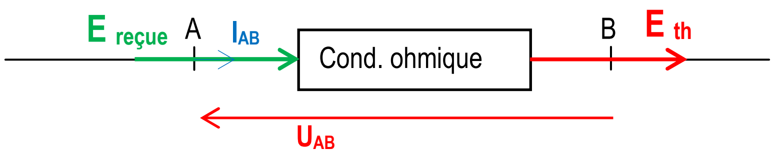
a/ Effet joule

On appelle effet joule, l'effet thermique qui accompagne le passage du courant électrique dans les conducteurs électriques. $E_{reçue} = E_{th} = UIt = RI^2t$.

b/ Loi d'ohm

La loi d'ohm pour un conducteur ohmique traversé par un courant électrique d'intensité I ayant à ses bornes la tension U, est ; $U = RI$.

c/ Schéma énergétique



4.2- L'électrolyseur

a/ Définition

Un électrolyseur est un récepteur « actif » qui transforme une partie de l'énergie électrique reçue en une autre forme d'énergie autre que l'énergie thermique. Cet autre type d'énergie est l'énergie chimique.

Remarque

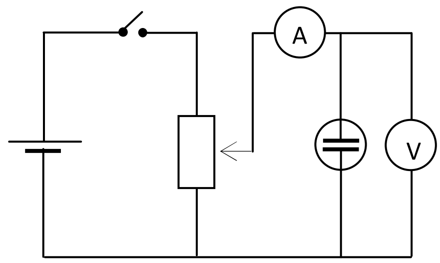
Un récepteur actif est dipôle passif qui transforme une partie de l'énergie électrique reçue en une autre forme d'énergie autre que l'énergie thermique.

Un moteur transforme une partie de l'énergie électrique reçue en énergie mécanique…

b/ Caractéristique intensité-tension d'un électrolyseur

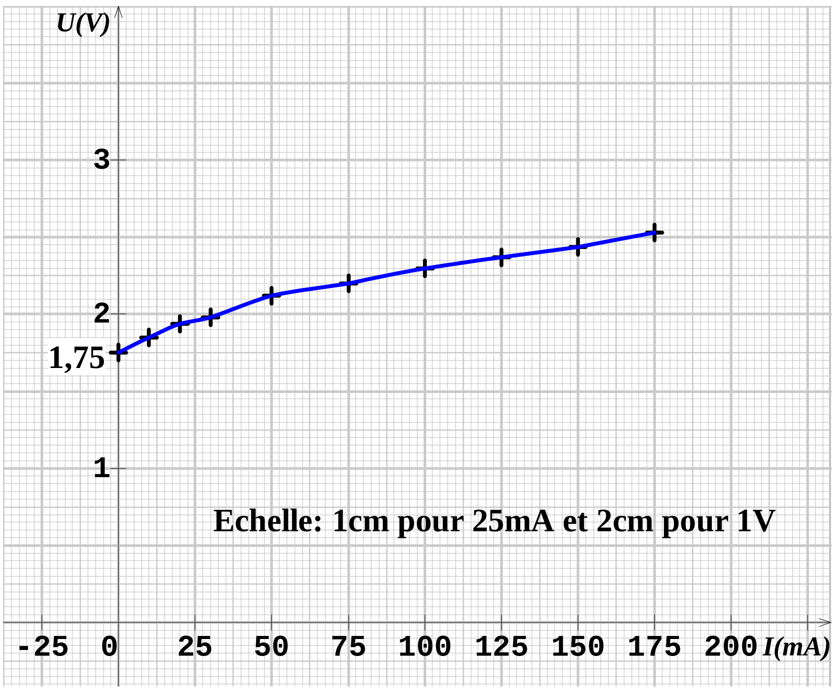
b-1/ Schéma du montage et expérience

A l'aide du schéma du montage ci-contre, on ferme le circuit et avec le rhéostat on fait varier l'intensité du courant dans la branche du circuit contenant l'électrolyseur puis on relève la tension correspondante. On obtient le tableau de mesures suivant.



I (mA)	0	10	20	30	50	75	100	125	150	175
U (V)	1,75	1,85	1,94	1,98	2,12	2,2	2,3	2,37	2,44	2,53

b-2/ Courbe U = f(I)



Exploitation de la courbe

- La caractéristique intensité - tension de l'électrolyseur est « presque » une droite de coefficient directeur (la pente) positif, ne passant pas par l'origine des axes.

Pour I = 0, U = e', appelé force contre-électromotrice de l'électrolyseur.

Sa résistance interne $r' = \frac{\Delta U}{\Delta I}$

- Loi d'ohm ; $U = e' + r'I$

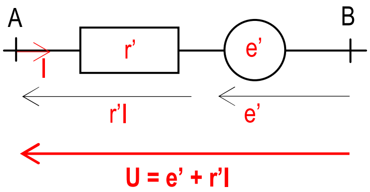


Schéma équivalent de l'électrolyseur

4.3- Généralisation

La caractéristique intensité-tension d'un récepteur « actif » est une droite de coefficient directeur (la pente) positif, ne passant pas par l'origine des axes.

La loi d'ohm est $U = e' + r'I$ avec e' est la force contre-électromotrice du récepteur, r' est sa résistance interne.

4.4- Bilan énergétique

a/ Energie électrique

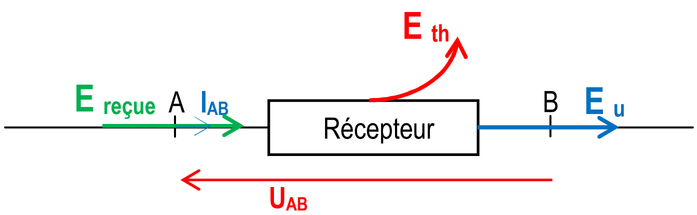
$E_{reçue} = UIt$. Or $UIt = (e' + r'I).It = e'It + r'I^2t$. $\Longrightarrow$ $E_{reçue} = E_u + E_{th}$

$E_u = e'It$; énergie utile (mécanique ou chimique).

b/ Puissance électrique

$\mathcal{P}_{reçue} = UI$. Or $UI = (e' + r'I).I = e'I + r'I^2$. $\Longrightarrow$ $\mathcal{P}_{reçue} = \mathcal{P}_u + \mathcal{P}_{th}$ avec $\mathcal{P}_u = e'I$; puissance utile (mécanique ou chimique).

c/ Schéma énergétique



Energie reçue $E_{reçue} = UIt$	Energie perdue par effet joule $E_{th} = r'It$	Energie utile $E_u = e'It$
Puissance reçue $\mathcal{P}_{reçue} = UI$	Puissance perdue par effet joule $\mathcal{P}_{th} = r'I^2$	Puissance utile $\mathcal{P}_u = e'I$

4.5- Rendement d'un récepteur

Le rendement d'un récepteur est le rapport de la puissance (ou énergie) utile qu'il produit (mécanique ou chimique) et la puissance (ou énergie) qu'il reçoit. $\rho' = \frac{\mathcal{P}_u}{\mathcal{P}_{reçue}} = \frac{e'I}{e'I + r'I^2} < 1$.

Le rendement est inferieur à 1.

Remarque

- Lorsqu'un moteur est bloqué, sa force contre-électromotrice est nulle (e' = 0).

- Pour un électrolyseur à anode soluble (électrode de cuivre plongée dans une solution aqueuse de sulfate de cuivre), il n'apparait pas d'énergie chimique. La force contre-électromotrice d'un tel électrolyseur est nulle (e' = 0).

II- Echanges énergétiques dans un dipôle actif (générateur)

1- Définition d'un générateur

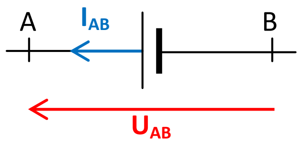
Un générateur est un dipôle actif (ou un appareil) qui produit du courant électrique à partir d'une autre forme d'énergie. Cette autre forme d'énergie peut être chimique (pile, accumulateur, …), mécanique (barrage hydro-électrique, génératrice de bicyclette, …), lumineuse (plaque photovoltaïque), …

Remarque

Un dipôle actif est un dipôle dont la tension à ses bornes est non nulle en circuit ouvert.

Il possède une borne positive (+) et une borne négative (-). Les dipôles actifs constituent la famille des générateurs.

2- Convention générateur



Dans un circuit ne comportant que des générateurs, le courant électrique circule dans le sens des potentiels croissants.

3- Caractéristique intensité-tension d'une pile (générateur)

3.1- Schéma du montage et expérience

A l'aide du schéma du montage ci-contre, on ferme le circuit et à l'aide de la résistance réglable du conducteur ohmique on fait varier l'intensité du courant du circuit et l'on relève la tension correspondante. On obtient le tableau de mesures suivant.

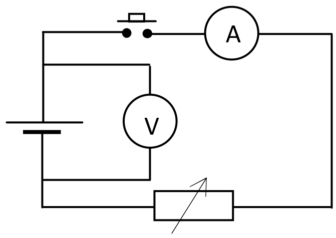
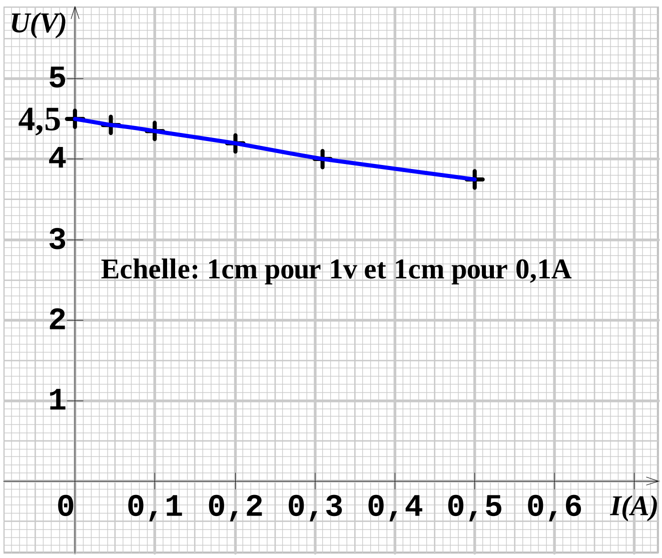


Tableau de mesures

U_{PN} (V)	4,5	4,425	4,35	4,20	4,05	3,75
I(A)	0	0,045	0,10	0,20	0,31	0,50

3.2- Courbe U = f(I)



Exploitation de la courbe

- La caractéristique intensité - tension de la pile est une droite de coefficient directeur (la pente) négatif, ne passant pas par l'origine des axes.

Pour I = 0, U = e, appelé force électromotrice de la pile. Sa résistance interne, $r = -\frac{\Delta U}{\Delta I}$

- Loi d'ohm ; $U = e - rI$

A partir de la loi d'ohm, on a les schémas équivalents suivants.

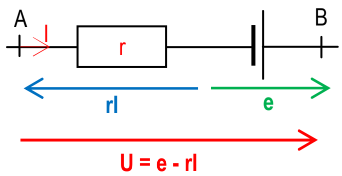


Schéma équivalent en série de la pile

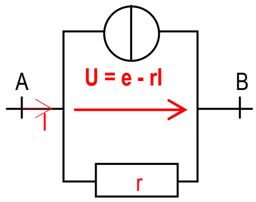


Schéma équivalent avec dérivation de la pile

<u>*Remarque*</u> *Pour le schéma équivalent avec dérivation de la pile ;* $I = I_{CC} + (-\frac{U}{r}) = \frac{1}{r}(E - U) \implies U = E - rI.$

3.3- <u>Généralisation</u>

La caractéristique intensité-tension d'un générateur est une droite de coefficient directeur (la pente) négatif, ne passant pas par l'origine des axes. La loi d'ohm est $U = e + rI$ avec e est la force électromotrice du récepteur, r est sa résistance interne.

<u>*Remarque*</u>

Un générateur monté en opposition se comporte comme un récepteur. $U = -(-e) + rI = e + rI$.

3.4- <u>Bilan énergétique</u>

a/ <u>Energie électrique</u>

$E_{fournie} = UIt$. Or $UIt = (e - rI).It = eIt - rI^2t$. $\implies E_{fournie} = E_g - E_{th}$

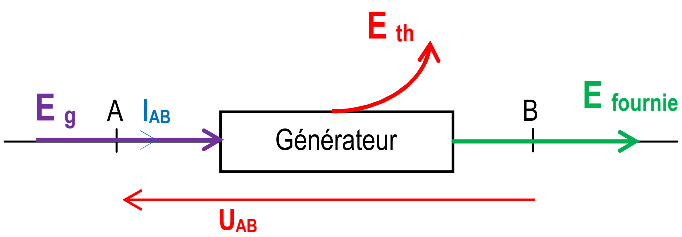
Donc $E_g = E_{fournie} + E_{th}$ avec $E_g = eIt$; énergie engendrée par le générateur.

b/ <u>Puissance électrique</u>

$\mathcal{P}_{reçue} = UI$. Or $UI = (e - rI).I = eI - r'I$. $\implies \mathcal{P}_{fournie} = \mathcal{P}_g - \mathcal{P}_{th}$

Donc $\mathcal{P}_g = \mathcal{P}_{fournie} + \mathcal{P}_{th}$ avec $\mathcal{P}_g = eI$; puissance engendrée par le générateur.

c/ <u>Schéma énergétique</u>



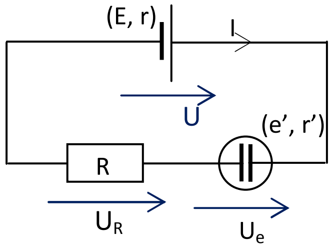
Energie fournie au circuit extérieur $E_{fournie} = UIt$	Energie perdue par effet joule $E_{th} = rIt$	Energie engendrée $E_g = eIt$
Puissance fournie au circuit extérieur $\mathcal{P}_{fournie} = UI$	Puissance perdue par effet joule $\mathcal{P}_{th} = rI^2$	Puissance engendrée $\mathcal{P}_g = eI$

3.5- <u>Rendement d'un générateur</u>

Le rendement d'un générateur est le rapport de la puissance (ou énergie) fournie au circuit extérieur et la puissance (ou énergie) générée. $\rho = \frac{\mathcal{P}_{fournie}}{\mathcal{P}_g} = \frac{e - rI}{e} = 1 - \frac{rI}{e} < 1$.

Le rendement est inferieur à 1.

III- Bilan énergétique d'un circuit



1- Circuit série simple

Loi d'additivité des tensions ;

$U = U_R + Ue$. $e - ri = e' + r'I + RI \Rightarrow I = \frac{e - e'}{r + r' + R}$.

2- Généralisation

Considérons un circuit série comportant des générateurs, des récepteurs et des conducteurs ohmiques.

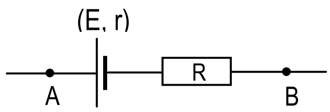
L'intensité du circuit est donnée par la relation suivante ; $I = \frac{\Sigma e - \Sigma e'}{\Sigma (r + r' + R)}$. C'est la loi de Pouillet.

3- Généralisation

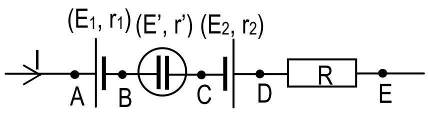
Le rendement du circuit est $\rho = \frac{\mathcal{P}_{utile}}{\mathcal{P}_{fournie}} = \frac{\Sigma e'}{\Sigma e - \Sigma (r\,I)}$.

Application 1

1. Considère le dipôle suivant dans lequel E = 100V, r = 2Ω et R = 20Ω.



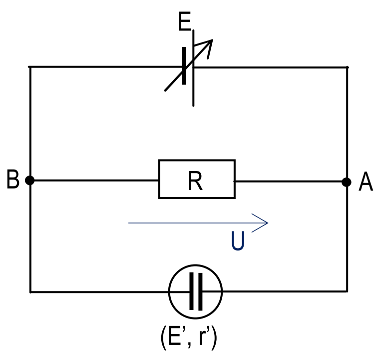
Calculer U_{AB} aux bornes du dipôle pour ;
1.1. L'intensité I_{AB} = 8A,
1.2. L'intensité I_{BA}= 10A.
2. La portion de circuit AE ci-dessous est parcourue par un courant d'intensité I = 2A.

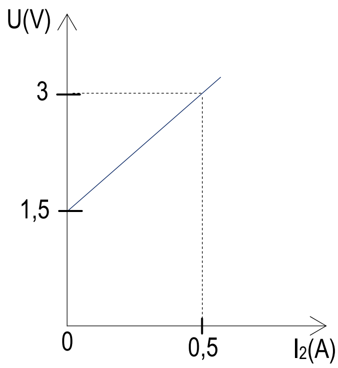


Calculer ;
2.1. Les tensions U_{AB} ; U_{AD} et U_{AE}.
2.2. La puissance électrique reçue par le dipôle CE.
On donne : R = 5Ω ; E' = 2V, r' = 3Ω ; E_1 = 6V, r_1 = 2Ω ; E_2 = 1V, r_2 = 0,2Ω.

Application 2

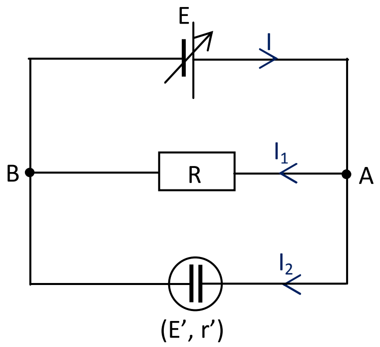
On réalise le montage ci-dessous dans lequel :
- Le générateur a une fém. E réglable et une résistance interne nulle ;
- Le conducteur ohmique a une résistance R = 10 Ω ;
- L'électrolyseur possède une caractéristique intensité-tension idéale conforme à la figure ci-dessous.



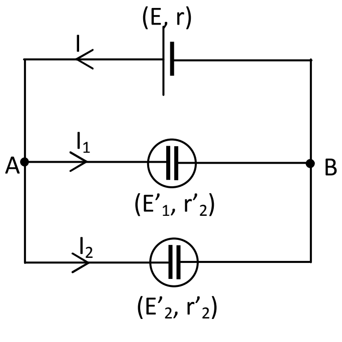


1. On fixe la fém. E du générateur à 1,2V puis à 2V.
Calculer les intensités I_1 et I_2 des courants qui traversent le conducteur ohmique et l'électrolyseur pour chaque valeur de E.
2. On maintient la fém. E du générateur à 2V et on intercale entre le nœud A et le générateur un conducteur ohmique de résistance R' réglable.
2.1. Calculer :
a/ les intensités I'_1 et I'_2 des courants qui traversent le conducteur ohmique et l'électrolyseur pour R' = 1Ω.
b/ l'énergie chimique emmagasinée dans l'électrolyseur pendant la durée Δt = 10mn.
2.2. Au-delà de quelle valeur de la résistance R' le courant cesse-t-il de traverser l'électrolyseur ?

Application 3
Le montage ci-contre comprend:
- Un générateur de fém. E réglable et de résistance interne r ;
- Un conducteur ohmique de résistance R = 4Ω ;
- Un électrolyseur (E'= 2V ; r'= 0,5Ω).
1. On fixe la fém. E du générateur à 1V et r = 0.
Calculer les intensités I_1 et I_2 des courants qui traversent le conducteur ohmique et l'électrolyseur.
2. Pour quelle valeur de la fém. E du générateur, l'électrolyseur sera-t-il traversé par un courant ?
3. On fixe ensuite la fém. E du générateur à 3V et r = 1Ω. Calculer :
3.1. Les intensités I'_1 et I'_2 des courants qui traversent le conducteur ohmique et l'électrolyseur.
3.2. L'énergie chimique emmagasinée dans l'électrolyseur pendant la durée Δt = 5mn.
3.3. Le rendement de l'électrolyseur.



Application 4
On réalise le montage ci-contre dans lequel :
- Le générateur a une fém. E = 6V et de résistance interne r = 2Ω ;
- Les électrolyseurs 1 (E'_1 = 2V ; r'_1 = 2Ω) et 2 (E'_2 = 3V ; r'_2 = 1Ω) sont montés avec dérivation aux bornes du générateur.
1. Calculer les intensités I_1 et I_2 des courants qui traversent les électrolyseurs 1 et 2.
2. En déduire l'intensité I du courant débitée par le générateur.
3. Calculer ;
3.1. La tension U_{AB}
3.2. L'énergie fournie par le générateur au reste du circuit en 1mn.



Un peu d'histoire de la science

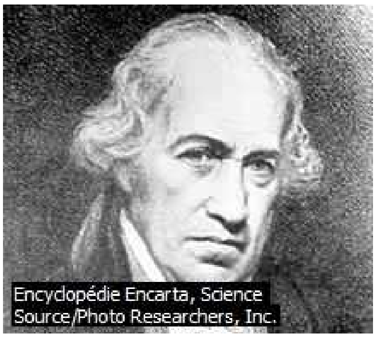
Encyclopédie Encarta, Science Photo Library/Photo Researchers, Inc.

Joule, James Prescott *(1818-1889), physicien britannique, né à Salford, dans le Lancashire. Il fut l'un des plus grands physiciens de son époque ; Joule est célèbre pour ses travaux de recherche en électricité et en thermodynamique. Au cours de ses recherches sur la chaleur émise dans un circuit électrique, il formula la loi, connue sous le nom de loi de Joule, sur la chaleur électrique, qui indique que la quantité de chaleur produite chaque seconde dans un conducteur par le passage du courant électrique est proportionnelle à la résistance électrique du conducteur et au carré du courant électrique. Joule a vérifié expérimentalement la loi de la conservation de l'énergie dans son étude sur la transformation de l'énergie mécanique en énergie thermique.*

Utilisant plusieurs méthodes indépendantes, Joule détermina la relation numérique existant entre l'énergie thermique et l'énergie mécanique, soit l'équivalent mécanique de la chaleur. L'unité d'énergie porte son nom ; elle est égale à un watt.seconde. Avec le physicien William Thomson, Joule découvrit que la température d'un gaz décroît lorsqu'il se dilate sans opération particulière. Ce phénomène, connu sous le nom d'effet Joule-Thomson, est à la base du fonctionnement des systèmes courants de réfrigération et de climatisation.

Joule reçut de nombreuses distinctions honorifiques des universités et des sociétés scientifiques à travers le monde. Ses Articles scientifiques en deux volumes furent publiés en 1885 et en 1887.

Ohm, Georg Simon *(1789-1854), physicien allemand, connu principalement pour ses recherches sur le courant électrique et pour la loi qui porte son nom. Né à Erlangen, il fut le directeur de l'institut polytechnique de Nuremberg de 1833 à 1849 et professeur de physique expérimentale à l'université de Munich de 1852 à sa mort. La loi d'Ohm indique le rapport de proportionnalité existant entre la tension et l'intensité du courant dans un circuit électrique. Ainsi, Ohm définit précisément la notion de résistivité et de résistance (voir Résistance électrique). En son honneur, l'unité de résistance électrique porte son nom.*



Encyclopédie Encarta, Science Source/Photo Researchers, Inc.

Watt, James *(1736-1819), inventeur, ingénieur et mécanicien écossais, célèbre pour ses améliorations apportées à la machine à vapeur.*

Watt *naquit le 19 janvier 1736 à Greenock, en Écosse. Il travailla comme fabricant d'instruments mathématiques dès l'âge de dix-neuf ans. Il commença à s'intéresser à l'amélioration des machines à vapeur (invention des ingénieurs anglais Thomas Savery et Thomas Newcomen) qui étaient utilisées à l'époque pour pomper l'eau des mines.*

Watt détermina les propriétés de la vapeur, en particulier le rapport entre sa densité, sa température et sa pression. Il conçut une chambre de condensation séparée pour la machine à vapeur. Celle-ci permit d'éviter les énormes pertes de vapeur dans le cylindre et améliorèrent le degré de vide dans la machine. Le premier brevet de Watt, déposé en 1769, porta sur cet appareil et sur d'autres améliorations apportées à la machine de Newcomen : la chemise à vapeur, la lubrification à l'huile et l'isolation du cylindre afin de maintenir des températures élevées et d'assurer un rendement maximal.

À cette époque, Watt était le partenaire de l'inventeur britannique John Roebuck, qui finançait ses recherches. En 1775, cependant, la participation de Roebuck fut reprise par le fabricant britannique Matthew Boulton, propriétaire des ateliers de fabrication Soho à Birmingham. Il commença à fabriquer des machines à vapeur avec Watt. Watt poursuivit sa recherche et breveta plusieurs autres inventions importantes, dont la machine rotative permettant de faire fonctionner différents types d'appareils, la machine à double effet, dans laquelle l'admission de la vapeur était alternativement réalisée aux deux extrémités du cylindre, et enfin l'indicateur de vapeur, qui enregistrait la pression de vapeur dans la machine. Il se retira de la société en 1800. Par la suite, il se consacra entièrement à la recherche.

L'idée fausse selon laquelle Watt serait le véritable inventeur de la machine à vapeur provient de ses contributions fondamentales à son développement. Il inventa en 1788 le régulateur centrifuge ou à *boules, qui permet de réguler automatiquement la vitesse d'un moteur et est toujours utilisé de nos jours. Il intègre le principe de la boucle de réaction d'un servomécanisme, reliant la sortie à l'entrée, le concept de base de l'automatisation. L'unité électrique, le watt, tient son nom de cet inventeur. Watt fut également un ingénieur civil renommé et réalisa plusieurs relevés pour des voies de canaux. Il inventa en 1767 un accessoire permettant d'utiliser les télescopes pour la mesure de distances. Watt mourut à Heathfield, en Angleterre, le 19 août 1819.*

Travaux dirigés

Exercice 1

Un générateur de f.é.m. E=6V et de résistance interne r = 2Ω est associé en série avec un électrolyseur de f.c.é.m. E'=2V et de résistance interne r'=8Ω.

1. faire le schéma du montage, écrire la loi d'ohm pour chaque dipôle, et calculer l'intensité I du circuit.
2. donner l'expression et calculer :
2.1. La puissance électrique générée
2.2. La puissance électrique disponible aux bornes du générateur et la puissance reçue par l'électrolyseur.
2.3. La puissance utile.
3. Définir et calculer :
3.1. Le rendement du générateur et celui de l'électrolyseur.
3.2. Le rendement du circuit.

Exercice 2

1. Un électrolyseur de f.c.é.m. E'=1,8V et résistance interne r'=4,3Ω est traversé par un courant d'intensité I=43mA. Déterminer la tension à ses bornes.
2. Calculer ;
2.1. La puissance électrique consommée par l'électrolyseur,
2.2. Sa puissance utile et la puissance perdue par effet joule.
2.3. En déduire le rendement de l'électrolyseur.
3. Calculer énergie électrique consommée en 30 min de fonctionnement.

Exercice 3

Un circuit fermé contient, en série : un générateur (E=20V ; r=1Ω) un conducteur ohmique (R=6Ω), un moteur (r'=1Ω) et un ampèremètre de résistance négligeable.

1. faire le schéma du montage.
2. On empêche le moteur de tourner. Déterminer ;
2.1. L'indication de l'ampèremètre
2.2. L'indication d'un voltmètre relié aux bornes du moteur.
3. On laisse le moteur tourner. L'ampèremètre marque 1A. Déterminer ;
3.1. La f.c.é.m. du moteur,
3.2. Sa puissance utile et la tension à ses bornes.

Exercice 4

Un électrolyseur dont les électrodes sont en fer contient en solution aqueuse d'hydroxyde de sodium. On le soumet à une tension continue réglable U, I est l'intensité du courant qui le traverse.

1. Faire un schéma du montage en mettant en place les éléments suivants :
- un générateur continu à tension de sortie réglable, - un interrupteur, - un électrolyseur,
- un ampèremètre, - un voltmètre.

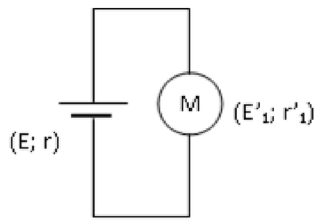
2. Les résultats des différentes mesures sont consignés dans le tableau ci-dessous.

U(V)	0	0,5	1	1,5	1,6	1,7	1,8	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5
I(A)	0	0	0	0	0,02	0,03	0,05	0,1	0,29	0,5	0,71	0,92	1,1	1,32

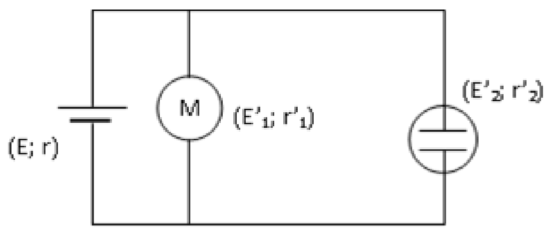
2.1. Tracer la caractéristique intensité-tension U = f(I).
 Echelle : 1cm pour 0,1A et 1cm pour 0,5V.
2.2. Trouver l'équation de la partie linéaire de cette caractéristique sous la forme U = *a*I + *b*.
2.3. En déduire les valeurs de la f.c.é.m. E et de résistance interne r' de l'électrolyseur.
3. L'électrolyseur précédent est désormais branché aux bornes d'une pile de f.é.m. E = 4,5V et de résistance r = 1,5Ω.
3.1. Calculer l'intensité I qui le traverse.
3.2. Quelle puissance électrique reçoit-il ? Quelle puissance dissipe-t-il par effet joule ?
3.3. De quelle puissance utile dispose-t-il pour effectuer les réactions chimiques aux électrodes ?
3.4. En déduire le rendement de l'électrolyseur.

Exercice 5

Un générateur de f.é.m. E=12V et de résistance interne r=1Ω alimente un moteur de f.c.é.m. E_1'=8V et de résistance interne r_1'=2Ω. Calculer;
1. l'intensité du courant qui traverse ce circuit.
2. la puissance fournie au circuit extérieur par le générateur et le rendement du moteur.



3. Une cuve à électrolyseur (E'$_2$=2V, r'$_2$=6Ω) est placée avec dérivation aux bornes du moteur.
3.1. Déterminer les intensités des courants dans chaque récepteur.
3.2. En déduire l'intensité débitée par le générateur.
3.3. Calculer la puissance fournie au circuit extérieur par le générateur.



Exercice 6

Un circuit est constitué d'un générateur (E=6V, r=1Ω), un moteur électrique (E'_1, r'_1), un résistor de résistance R variable, un électrolyseur (E'_2, r'_2), deux ampèremètres A_1 et A_2 et deux interrupteurs K_1 et K_2.

1. K_2 étant ouvert, on ferme K_1.

Lorsque le moteur est bloqué, on lit sur A_1 ; I_1=1,5A.

Lorsque le moteur tourne, on lit sur A_1 ; I'_1=1A.

1.1. Déterminer E'_1 et r'_1.

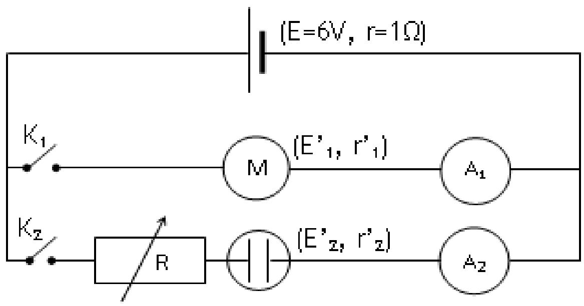
1.2. Calculer le rendement du moteur.

2. On ouvre K_1 et on ferme K_2. Pour R=10Ω, on lit sur A_2 ; I_2=0,25A. Pour R=15Ω, on lit sur A_2 ; I'_2=0,20A. Déterminer E'_2 et r'_2.

3. On ferme K_1 et K_2.

3.1. Calculer les intensités I_1 et I_2 lues respectivement sur les ampèremètres A_1 et A_2 pour R=10Ω.

3.2. En déduire l'intensité I débitée par le générateur.



Exercice 7

Un circuit électrique comprend en série un générateur de f.é.m. constante e = 27 V et de résistance interne r = 0,5Ω, un moteur de f.c.é.m. e' et de résistance r', un conducteur ohmique R = 2,5Ω.

1. Faire un schéma du circuit électrique.
2. Ecrire la loi d'ohm aux bornes de chaque dipôle.
3. On empêche le moteur de tourner. On mesure une énergie de 12kJ en 5mn au niveau du conducteur ohmique. Calculer :

3.1. L'intensité I du courant dans le circuit.

3.2. La résistance interne r' du moteur.

4. Le moteur fonctionne, la quantité d'énergie dégagée au niveau du conducteur ohmique n'est plus que de 0,75kJ en 5mn. Calculer :

4.1. L'intensité I' du courant dans le circuit.

4.2. La f.c.é.m. e' du moteur.

4.3. La puissance mécanique du moteur lorsqu'il fonctionne.

Exercice 8

Aux bornes d'un générateur continu industriel (E = 220V et de résistance interne r = 0,4Ω) ; on branche en série, un conducteur ohmique de résistance R = 50Ω et un moteur de f.c.é.m. E' et de résistance interne r'.

1. Quand on bloque le moteur, l'intensité du circuit est I_1=4,3A.

Calculer r' et la tension U_1 à ses bornes.

2. Lorsque le moteur tourne à son régime principal, l'intensité du circuit est I_2=1,5A. Calculer :

2.1. La tension U_2 aux bornes du moteur et la valeur de E'

2.2. La puissance fournie par le générateur et la puissance thermique dissipée dans le circuit

2.3. La puissance utile du moteur.

2.4. Le rendement de l'installation.

Exercice 9

On considère le circuit ci-contre dans lequel un générateur de f.é.m. E=20V et de résistance interne r=2Ω alimente un moteur électrique de f.c.é.m. E'=4V et de résistance interne r'=1,2Ω associé avec dérivation à deux conducteurs ohmiques de résistances respectives R_1=8Ω et R_2=12Ω.

1. Déterminer la résistance équivalente R des conducteurs ohmiques.

2. Donner en fonction de l'intensité I du circuit, l'expression de la tension U_{PN} aux bornes du générateur, U_{AB} aux bornes du moteur et U_{BC} aux bornes des conducteurs ohmiques associés avec dérivation.

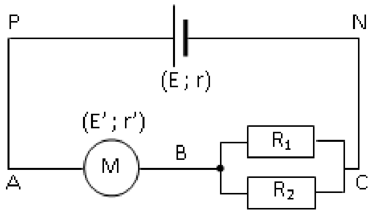
3. A l'aide de quelle loi peut-on établir l'expression de l'intensité I du circuit ? Donner cette expression et calculer la valeur de I.

4. Donner l'expression en fonction de l'intensité I et calculer la valeur de :

4.1. La puissance générée par le générateur et celle qu'il fournit au reste du circuit.

4.2. La puissance reçue par le moteur et celle dissipée par effet joule dans tout le circuit.

4.3. Le rendement du moteur.



Titre du cours : **Les condensateurs**

Objectifs spécifiques

- Déterminer les caractéristiques d'un condensateur.
- Appliquer les lois d'association de condensateurs.
- Connaitre l'expression de l'énergie stockée par un condensateur.

Plan du cours

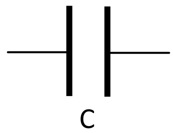
Voir cours

Les condensateurs

I- Généralités

1- Définition et symbole

Un condensateur est composant électrique constitué de deux conducteurs métalliques (les armatures), en influence mutuelle, séparés par un isolant (le diélectrique). Le symbole d'un condensateur est ;



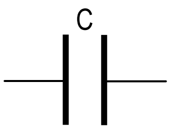
Remarque

1. Entre les armatures d'un condensateur, il règne un champ électrostatique $\vec{E}$ uniforme. Le diélectrique utilisé est l'air, le vide, le verre, le mica, …

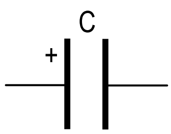
2. Un condensateur ne laisse pas passer permanent (continu). Il ne peut s'utiliser qu'en courant variable.

3. Condensateur de capacité C = 2200µF et la tension entre ses armatures est 16V.

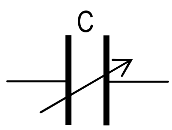
2- Symbole de quelques condensateurs



Condensateur non polarisé



Condensateur polarisé



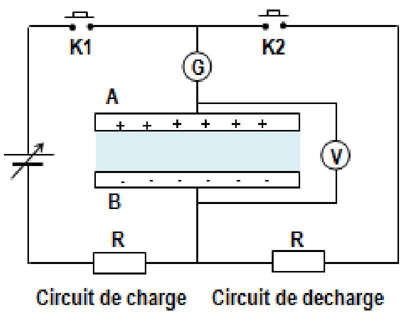
Condensateur à capacité variable

II- Intensité du courant et tension aux bornes d'un condensateur

1. Charge et décharge d'un condensateur

1.1. Schéma du montage

Lorsqu'on ferme l'interrupteur (ou bouton poussoir) K_1 ou K_2, l'aiguille du galvanomètre très sensible donne une déviation maximale proportionnelle à la charge totale Q des électrons en mouvement entre les armatures A et B du condensateur.



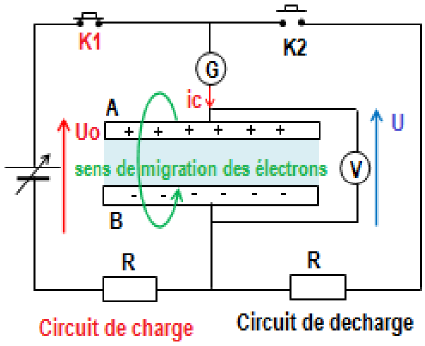
1.2. Charge d'un condensateur

a/ Expérience

Fermons l'interrupteur K_1.

b/ Observations

Le galvanomètre indique le passage d'un courant i_C positif.
Le voltmètre affiche une tension croissante qui se stabilise à la valeur U_0.

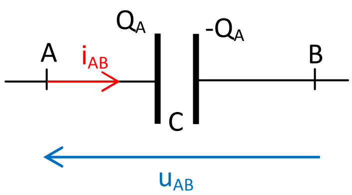


c/ Interprétation

Les électrons (à l'intérieur du condensateur), migrent de l'armature B vers l'armature A (en sens inverse de i_C).
La migration des électrons qui a donné naissance au courant i_C, crée une charge $Q_A > 0$ (sur l'armature A) et une charge $Q_B < 0$ (sur l'armature B) telle que $Q_A = - Q_B$.
La différence de potentiel (ddp) ainsi établie entre les armatures A et B, donne la tension U aux bornes du condensateur. La migration des électrons s'arrête dès que la tension $U = U_0$ (U_0 étant la tension aux bornes du condensateur). Il ne circule plus de courant dans le circuit de charge (le courant de charge i_C s'annule). La charge du condensateur est $Q = |Q_A| = |Q_B|$. On dit qu'il est chargé.

d/ Conclusion

Lors de la charge du condensateur, $i_{AB} = i_c > 0$, la charge q du condensateur augmente en fonction du temps ; $i_c = \frac{dq}{dt} > 0$.
A la fin de la charge, on a : $Q_A = - Q_B$.



Remarque

- La borne positive du générateur attire les électrons de l'armature A, les propulse vers la borne négative (du générateur), qui les repousse vers l'armature B.
Tout se passe comme si les électrons migrent de l'armature B vers l'armature A.
- Lorsque le condensateur est chargé, on a $Q_A = - Q_B$ donc $Q_A + Q_B = 0$. La charge totale du condensateur est nulle. Aucun courant ne circule dans le condensateur, $i_C = 0$ et $U = U_0$.
- Même en circuit ouvert (K_1 ouvert), la charge du condensateur reste $Q = |Q_A| = |Q_B|$ et tension entre ses bornes est $U = U_0$.
- Le condensateur se comporte comme un récepteur (i_C et U de sens contraires)

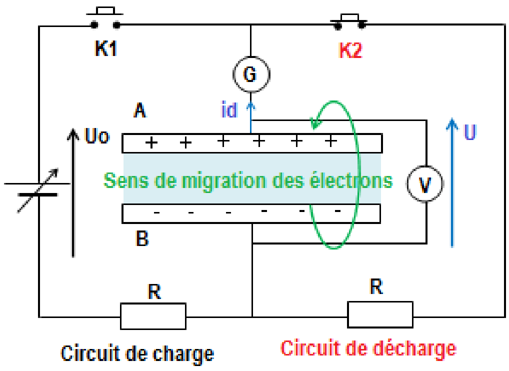
1.3. Décharge d'un condensateur

a/ Expérience

Fermons l'interrupteur K_2.

b/ Observations

Le galvanomètre indique le passage d'un courant i_d (en sens inverse de i_c). La tension U affichée par le voltmètre diminue jusqu'à s'annuler.



c/ Interprétation

Le condensateur se décharge dans le conducteur ohmique.

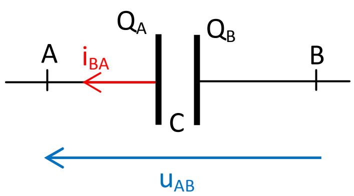
Les électrons (à l'intérieur du condensateur), migrent de l'armature A vers l'armature B (en sens inverse de i_d) pour compenser le déficit d'électrons créé par la circulation du courant i_d.

La migration des électrons s'arrête lorsque $Q_A = Q_B = 0$. La tension U = 0 et l'intensité $i_D = 0$. On dit que le condensateur est chargé.

d/ Conclusion

Lors de la décharge du condensateur, $i_{BA} = i_d < 0$, la charge q du condensateur diminue en fonction du temps ; $i_d = -\frac{dq}{dt} < 0$.

A la fin de la décharge, on a : $Q_A = Q_B = 0$.



Remarque

- Lorsqu'on relie les armatures d'un condensateur chargé par un composant électrique (conducteur ohmique, bobine, …), il se décharge dans le composant électrique.

- A la fin de la décharge, la charge du condensateur est $Q = 0$, tension entre ses bornes est $U = 0$ et l'intensité de décharge $i_D = 0$.

- Le condensateur se comporte comme un générateur (i_D et U de mêmes sens).

1.4. Visualisation de la tension à l'oscilloscope

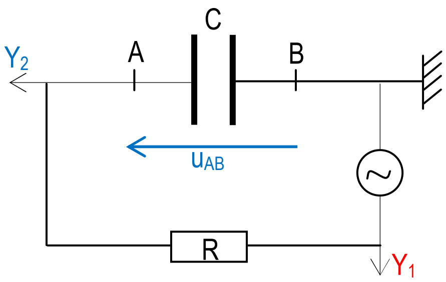
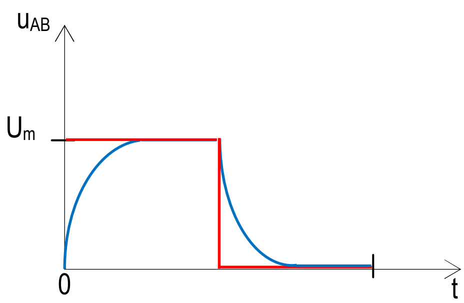


Schéma du montage



Variation de u_{AB} en fonction du temps t

2. Charge d'un condensateur à courant constant

2.1- Schéma du montage et expérience

A l'aide du schéma du montage ci-contre, on charge le condensateur avec une source de courant constant qui débite une intensité I = 2µA.

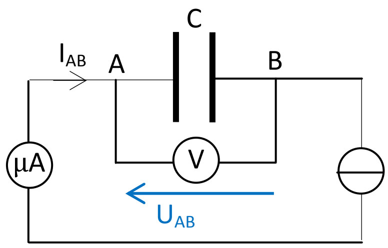
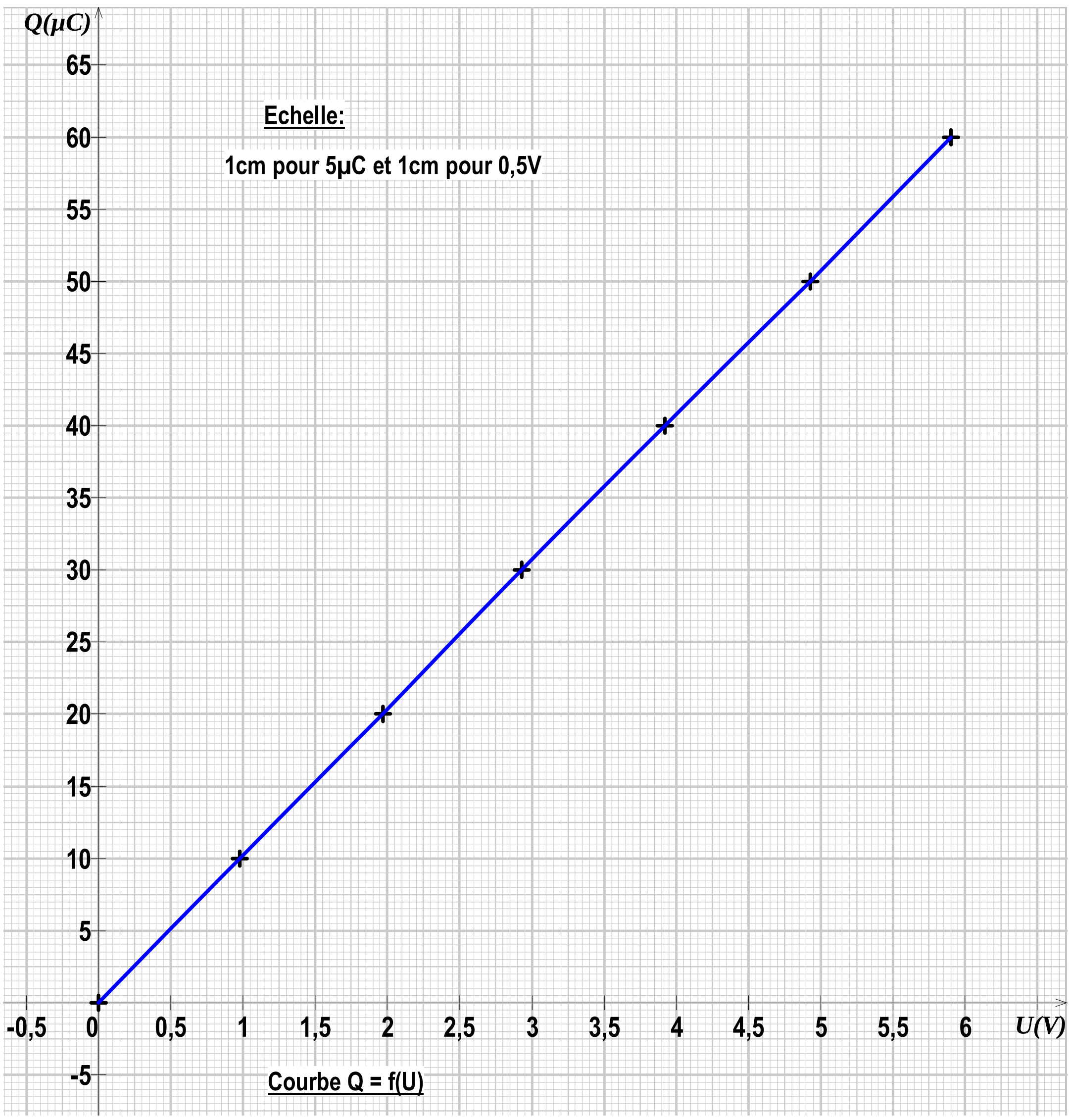


Schéma du montage

A chaque intervalle de temps régulier τ = 5s, on relève la tension aux bornes du condensateur. On obtient les résultats donnés dans le tableau ci-dessous.

τ (s)	0	5	10	15	20	25	30
U(V)	0	0,98	1,97	2,93	3,92	4,93	5,90
Q = Ixt (µC)	0	10	20	30	40	50	60

2.2- Courbe Q = f(U) et exploitation de la courbe



Courbe Q = f(U)

La courbe Q = f(U) est une droite croissante passant par l'origine des axes. La tension U aux bornes d'un condensateur est proportionnelle à la charge Q.
Le coefficient de proportionnalité noté C est appelé la capacité du condensateur.

Pour l'expérience $C = \frac{\Delta Q}{\Delta U}$ = 10,2µF.

3. Capacité d'un condensateur

Soumis à une tension U, l'une des armatures d'un condensateur porte la charge Q telle que $Q = C.U$ et $C = \frac{Q}{U}$ avec Q (en C), C (en Farad), U (en V).

Remarque

Les sous multiples du Farad sont ; le millifarad (1mF = 10^{-3}F), le microfarad (1µF = 10^{-6}F), le nanofarad (1nF = 10^{-9}F), le picofarad (1pF = 10^{-12}F), …

4. Capacité d'un condensateur plan

La capacité d'un condensateur plan est ; $C = \varepsilon \frac{S}{d}$, ε est une constance dépendant du diélectrique ; avec S(en m²), d (en m).

Remarque

- Si le diélectrique est le vide ; $C = \varepsilon \frac{S}{d}$, $\varepsilon = \varepsilon_0 = 8,54.10^{-12}$ SI est la permittivité du vide.

- Si le diélectrique est un milieu quelconque ; $C = \varepsilon \frac{S}{d}$, $\varepsilon = \varepsilon_0\,\varepsilon_r$ où ε_r est la permittivité relative du milieu.

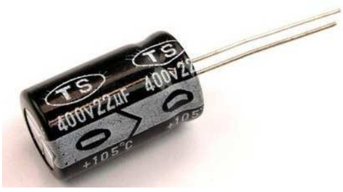
5. Tension nominale et tension de claquage

5.1- Tension nominale

C'est la tension maximale (inscrite sur le condensateur) que celui-ci peut supporter le condensateur. Cette tension est imposée par le fabricant.

Remarque

La capacité C d'un condensateur est imposée par le fabricant et inscrite sur celui-ci. Voir le condensateur ci-contre.

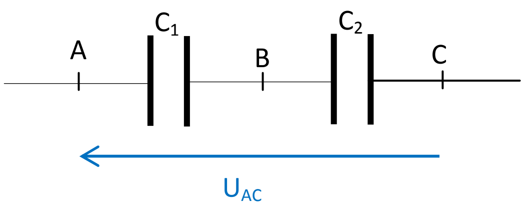


5.2- Tension de claquage

C'est la tension limite U = E.d (liée au champ électrostatique $\vec{E}$ à l'intérieur des armatures du condensateur), au-delà de laquelle le condensateur se détériore.

III- Association de condensateurs

1. Condensateurs en série



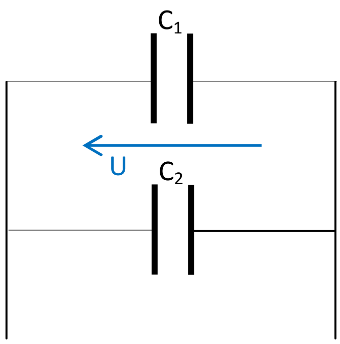
Pour le condensateur équivalent à l'association, on a ; $U_{AC} = U_{AB} + U_{AC}$. Donc $\frac{Q}{C} = \frac{Q_1}{C_1} + \frac{Q_2}{C_2}$.

Lorsque les condensateurs 1 et 2 sont chargés, il s'établit un équilibre tel que $Q = Q_1 = Q_2$.

Ainsi, $\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$. Lorsque des condensateurs sont associés en série, la capacité équivalente de l'association est ; $\frac{1}{C_{éq}} = \sum \frac{1}{C_i}$.

Remarque
L'association de condensateurs en série présente peut d'avantage.

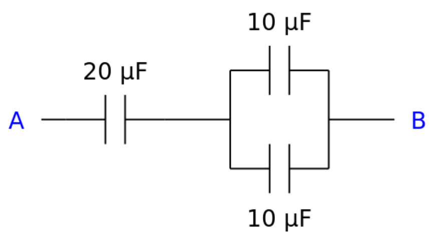
2. Condensateurs en parallèle (ou avec dérivation)



Lorsque les condensateurs 1 et 2 sont chargés, il s'établit un équilibre tel que $Q = Q_1 + Q_2$. Donc $C.U = C_1.U + C_2.U$ et $C = C_1 + C_2$.
Lorsque des condensateurs sont associés en parallèle (ou avec dérivation), la capacité équivalente de l'association est ; $C_{éq} = \sum C_i$.

Remarque
En associant des condensateurs en parallèle (ou avec dérivation), on obtient un condensateur équivalent de plus grande capacité. Cette association présente plus d'intérêt.

Application 1
1. Déterminer la capacité équivalente à cette association.
2. Calculer la charge totale Q du condensateur équivalent lorsque la tension $U_{AB} = 220V$.

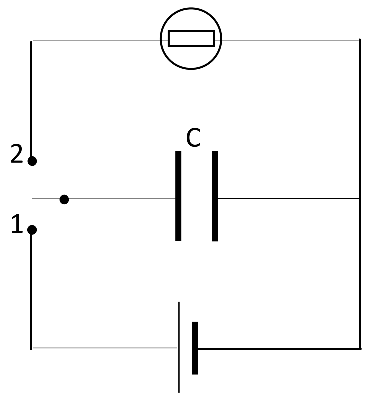


IV- Energie emmagasinée dans un condensateur

1. Mise en évidence

1.1- Expérience et observation

A l'aide du schéma du montage ci-contre, on charge le condensateur en mettant le commutateur en position 1.
Lorsqu'on met le commutateur en position 2, la lampe s'allume instantanément puis s'éteint progressivement.



1.2- Interprétation

L'énergie emmagasinée dans le condensateur est restituée au circuit extérieur, et constitue la source d'une ddp qui fait briller la lampe.

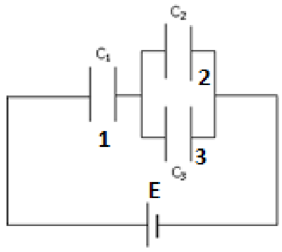
1.3- Conclusion

Placé dans un circuit électrique, le condensateur emmagasine de l'énergie électrostatique.

2. Expression

L'énergie électrostatique emmagasinée par un condensateur est ; $E_c = \frac{1}{2}.\frac{Q^2}{C} = \frac{1}{2}C.U^2 = \frac{1}{2}.QU$

Application 2



1. On étudie l'association des condensateurs représentés ci-contre. On donne: $C_1 = 3\mu F$; $C_2 = 2\mu F$; $C_3 = 4\mu F$ et $E = 120V$.

1.1. Déterminer la capacité équivalente à cette association.

1.2. Exprimer la charge totale Q du condensateur équivalent.
Calculer sa valeur.

Application 3

1. On dispose de 3 condensateurs de capacités respectives 1µF, 2µF et 3µF.
Quelle est la capacité du condensateur équivalent à l'association de ces condensateurs :

1.1. En série ?

1.2. Avec dérivation ?

2. Un courant d'intensité constante 30mA charge un condensateur de capacité 1F. La tension maximale supportée par ce condensateur est égale à 5V.

2.1. Quelle l'énergie électrique maximale peut emmagasiner ce condensateur ?

2.2. Quelle est la durée maximale de charge ?

Application 4

1. Un condensateur chargé sous une tension constante $U = 50V$ porte la charge $Q=10\mu C$.
Calculer sa capacité et l'énergie emmagasinée.

2. Un condensateur de capacité $C=100\mu F$ est chargé avec un générateur de courant qui délivre une intensité $I=150\mu A$. Calculer :

2.1. La charge prise par le condensateur au bout de 10s.

2.2. La tension entre ses armatures.

Travaux dirigés

Exercice 1

On charge un condensateur de capacité C à l'aide d'un générateur de courant délivrant une intensité constante $I=100\mu A$ lue sur l'ampèremètre. Le montage est représenté par la figure ci-contre. A l'instant initial (t=0), on ferme le circuit, le condensateur étant déchargé.

1. Déterminer à t=0, les tensions respectives aux bornes du condensateur, du conducteur ohmique et du générateur de courant constant.

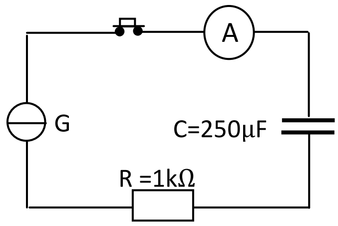
2. Au bout d'une minute, la charge est arrêtée. Déterminer :

2.1. La charge finale du condensateur

2.2. L'énergie emmagasinée dans le condensateur

2.3. L'énergie thermique produite par le conducteur ohmique

2.4. L'énergie fournie par le générateur de courant constant pendant la durée de la charge.



Exercice 2

Un condensateur de capacité C_1=5µF est chargé sous une tension constante U=40V.

Dès que la charge est terminée, on sépare le condensateur de la source de tension et on connecte ses armatures à celles d'un condensateur non chargé de capacité C_2=20µF.

1. Quelle est la charge initiale Q_0 du condensateur de capacité C_1?
2. Déterminer :

2.1. La tension finale aux bornes de chaque condensateur

2.2. La charge finale de chaque condensateur

2.3. L'énergie initiale du condensateur de capacité C_1,

2.4. L'énergie finale des condensateurs,

2.5. L'énergie perdue par les condensateurs.

Exercice 3

Un condensateur de capacité C est chargé par un générateur à courant constant I=1mA. On relève la tension V à ses bornes en fonction du temps et on obtient le tableau ci-dessous.

t (s)	0	10	20	30	40	50	60	70
U (V)	0	2,2	4,5	6,7	8,9	11,1	13,3	15,6
Q (C)								

1. Compléter le tableau ci-dessous.
2. Tracer le graphe U=f(t). Echelle : 1cm ↔ 10s et 1cm ↔ 2V.
3. Déduire de la valeur de la capacité C.

Exercice 4

1. Lors de la charge d'un condensateur sur lequel il est marqué 1mF à courant constant I = 22µA, on relève la tension indiquée par le voltmètre et la durée t de charge. On obtient les valeurs suivantes.

t(s)	5	10	15	20	25
U_C(V)	1,1	2,2	3,3	4,4	5,5
Q(C)					

1.1. Compléter le tableau et tracer la courbe Q = f(U_C).

1.2. Vérifier la valeur de la capacité C inscrite sur le condensateur.

Echelle : 1cm pour 5s et 1cm pour 11.10^{-4}C.

1.3. A la fin de la charge, la tension aux bornes du condensateur est U_C = 24V. Calculer la charge finale. En déduire l'énergie emmagasinée dans le condensateur.

2. On fait décharger le condensateur en le faisant débiter un courant de 1A dans un appareil photographique qui émet un flash.

2.1. Quelle est la durée du flash?

2.2. En déduire sa puissance.

Titre du cours : **L'amplificateur opérationnel**

Objectifs spécifiques

- Connaitre les propriétés d'un amplificateur idéal.
- Déterminer le gain en tension d'un amplificateur fonctionnant en régime linéaire.

Plan du cours

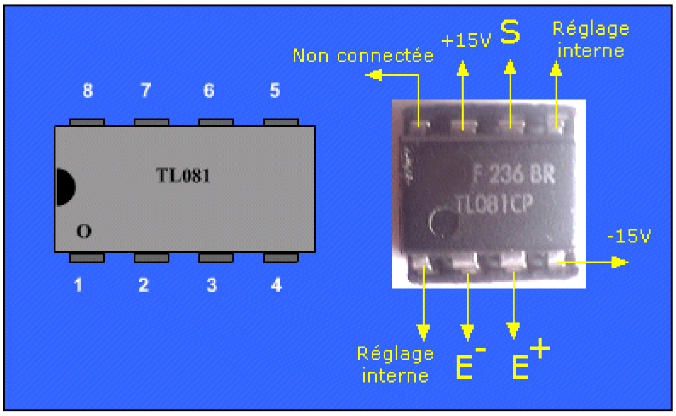
Voir cours

L'amplificateur opérationnel

I - Description

1- Présentation

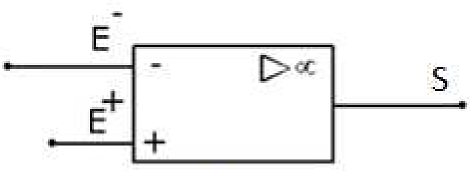
L'amplificateur opérationnel est un circuit intégré qui permet d'amplifier (de multiplier ou de diviser) une tension, de faire des opérations mathématiques (addition, soustraction, dérivation, intégration) sur une tension, ...
Il est composé de différents composants électriques parmi lesquels des transistors, des diodes, des conducteurs ohmiques.
Il possède huit (08) bornes de branchement (ou pattes), reparties en ;
- deux (02) entrées, une (01) sortie,
- deux (02) bornes d'alimentation,
- trois (03) autres bornes nécessaire à son fonctionnement.



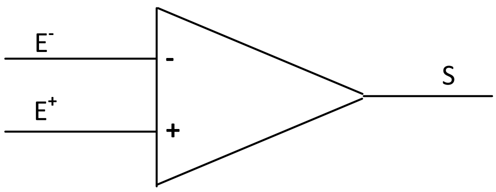
2- Bornes de l'amplificateur opérationnel

La borne 8 n'est pas connectée.
Les bornes 1 et 5 (**ne sont pas au programme de 1ère**) servent à un réglage interne.
L'A.O. doit être polarisé grâce à un générateur de tension continu symétrique -15 V, + 15V. On utilise pour cela les bornes 4 et 7. Ce sont les premières bornes à brancher et les dernières bornes à de déconnecter du générateur.
Le générateur n'est pas représenté dans les schémas des montages électriques.
Il nous reste 3 bornes pour nos circuits ;
- Une entrée inverseuse E^- (borne 2). - Une entrée non inverseuse E^+ (borne 3).
- Une borne S (n°6) appelée sortie.

3- Symboles



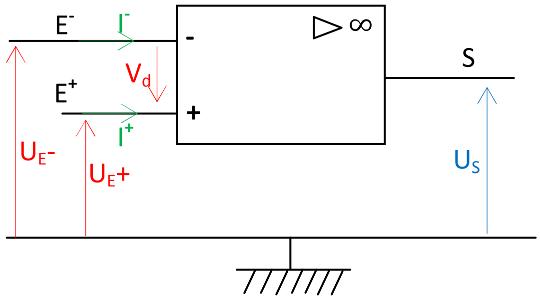
Symbole français



Symbole anglo-saxon

4- Intensité et tension aux bornes de l'A.O.

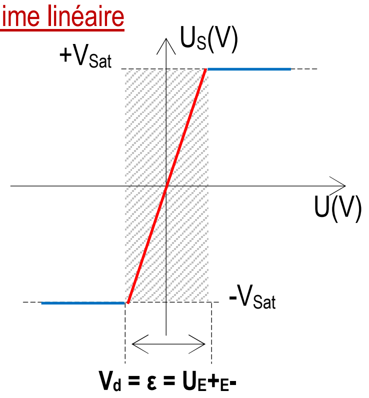
Intensités	I^- ; intensité à l'entrée inverseuse E^- I^+ ; intensité à l'entrée non-inverseuse E^+ I^- ; intensité à la sortie S
Tensions	U_{E^-} ; Tension à l'entrée inverseuse E^- U_{E^+} ; Tension à l'entrée non-inverseuse E^+ U_S ; Tension à la sortie S $V_d = \varepsilon = U_{E+E-}$; Tension différentielle



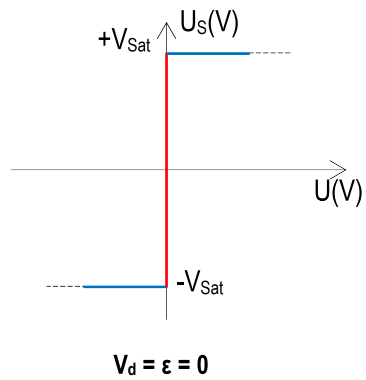
II - Propriétés

1- Fonctionnement de l'A.O.

1.1- Régime linéaire



Caractéristique d'un A.O. réel, $\varepsilon \neq 0$



Caractéristique d'un A.O. idéal

Remarque *L'A.O. en régime idéal; $\varepsilon = 0$, l'intensité $I^+ = I^- = 0$; la tension $U_{E^+} = U_{E^-}$.*

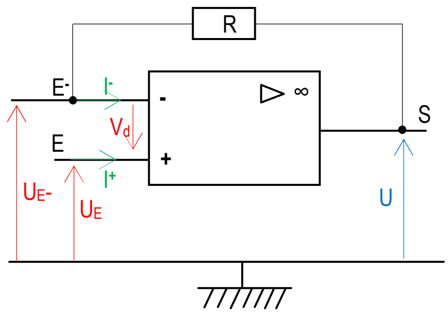
1.2- Régime saturé

En régime saturé, la tension de sortie de l'A.O. est telle que ; $-V_{sat} \leq U_S \leq +V_{sat}$.

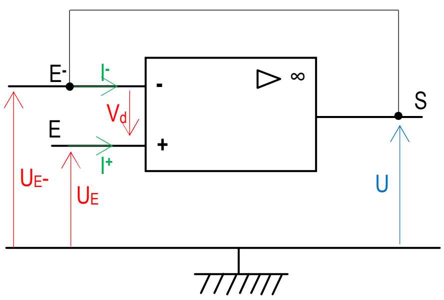
Remarque *La tension de sortie de l'A.O. en régime saturé; est telle que* $U_S = |V_{sat}|$.

2- Rétroaction (ou contre réaction)

Il y a rétroaction (ou contre réaction) lorsque la sortie S de l'A.O. est branché à l'entrée inverseuse E^- par l'intermédiaire d'un court-circuit ou d'un conducteur ohmique.



L'AO est bouclé par un résistor



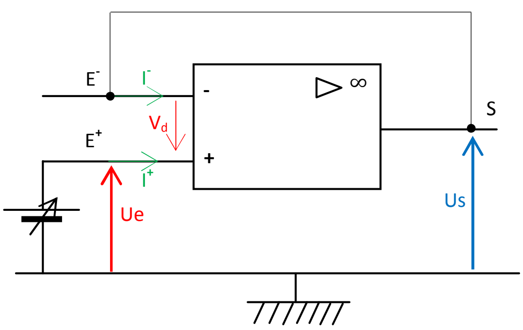
L'AO est bouclé par un court-circuit

III - Etude de quelques montages électroniques avec l'A.O. idéal en régime linéaire

1- Etude expérimentale d'un montage suiveur

1.1- Schéma du montage et expérience

A l'aide du montage ci-contre, on fait varier la tension d'entrée Ue et on relève la tension de sortie Us. On obtient les résultats donnés dans le tableau ci-dessous.



1.2- Résultats

Ue (V)	0	0,2	0,4	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,1
Us (V)	0	0,2	0,4	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,1

1.3- Conclusion

La tension de sortie Us est égale à la tension de sortie Us, d'où le nom de montage suiveur.

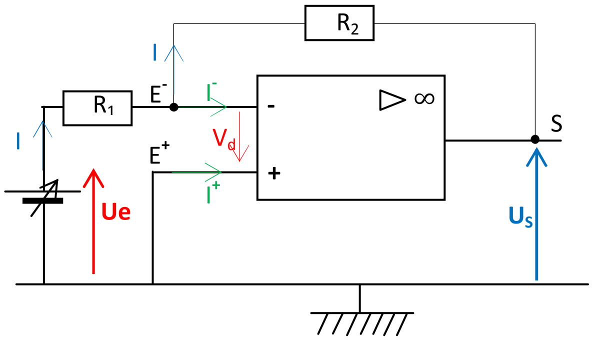
1.4- Etude théorique

- Régime linéaire ; $U_E+ = U_E-$.
- L'A.O. est bouclée à la sortie par un court-circuit ; $Ue = U_E+$ et $Us = U_E-$. On a ; Ue = Us.

2- Etude expérimentale d'un montage amplificateur inverseur

2.1- Schéma du montage et expérience

A l'aide du montage ci-contre, faisons varier la tension d'entrée Ue et relevons la tension de sortie Us. Pour $R_1 = 1k\Omega$ et $R_2 = 4k\Omega$, on obtient les résultats donnés dans le tableau ci-dessous.



2.2- Résultats

Ue (V)	0	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45
Us (V)	0	- 0,4	- 0,6	- 0,8	- 1	- 1,2	- 1,4	- 1,6	- 1,8

On constate que ; $Us/Ue = - R_2/R_1 = - 4$

2.3- Conclusion

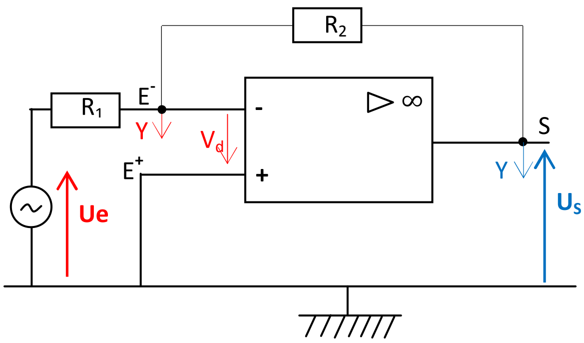
La tension de sortie $Us = - (R_2/R_1).Ue = G.Ue$. $G = - (R_2/R_1) < 0$ est appelé le coefficient d'amplification ou le gain. La tension de sortie est inversée et amplifiée.

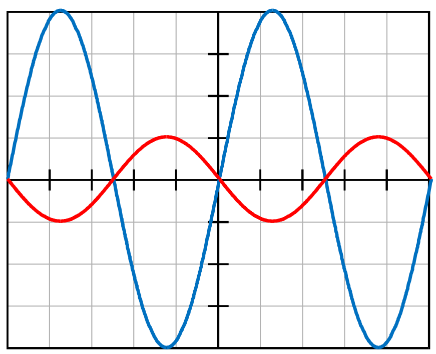
2.4- Etude théorique et visualisation des tensions d'entrée et sortie à l'oscilloscope

2.4.1- Etude théorique

- Regime linéaire ; $I^+ = I^- = 0$.
- Tensions ; $Ue = R_1I_1$ et $Us = - U_{E-S} = - R_2I_2$
- Intensités ; $I_1 = I_2$, donc $Us = - (R_2/R_1).Ue$

2.4.2- Montage et visualisation des tensions Ue et Us

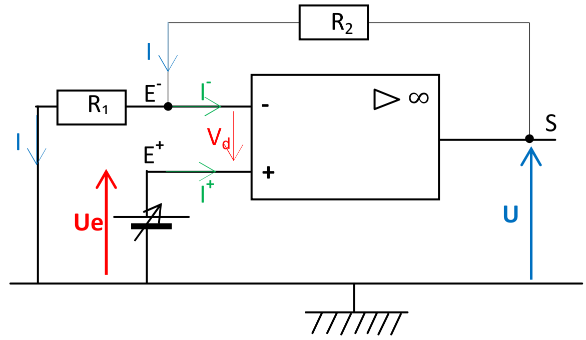




3- Etude expérimentale d'un montage amplificateur non-inverseur

3.1- Schéma du montage et expérience

A l'aide du montage ci-contre, faisons varier la tension d'entrée Ue et relevons la tension de sortie Us. Pour R_1 = 1kΩ et R_1 = 2kΩ, on obtient les résultats donnés dans le tableau ci-dessous.



3.2- Résultats

Ue (V)	0	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45
Us (V)	0	0,3	0,45	0,6	0,75	0,9	1,05	1,2	1,35

On constate que ; $Us/Ue = 1+ R_2/R_1 = 3$.

3.3- Conclusion

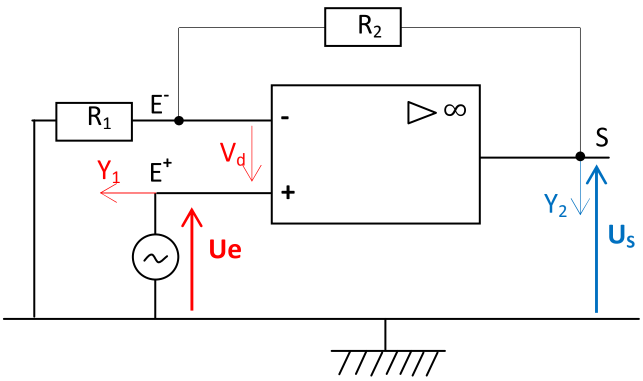
La tension de sortie $Us = [1 + (R_2/R_1)].Ue = G.Ue$. $G = 1 + (R_2/R_1) > 0$ est appelé le coefficient d'amplification ou le gain. La tension de sortie est non inversée et amplifiée.

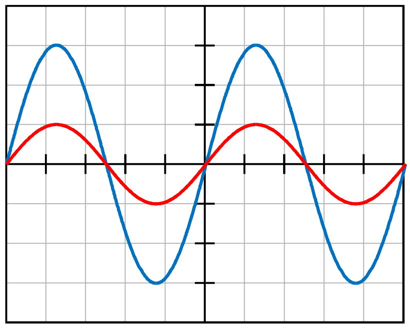
3.4- Etude théorique et visualisation des tensions d'entrée et sortie à l'oscilloscope

3.4.1- Etude théorique

- Regime linéaire ; $I^+ = I^- = 0$. - Tensions ; $Ue = R_1I_1$ et $Us = U_{E^-E} + U_{SE^-} = R_1I_1 + R_2I_2$
- Intensités ; $I_1 = I_2$, donc $Us = [1 + (R_2/R_1)].Ue$

3.4.2- Montage et visualisation des tensions Ue et Us



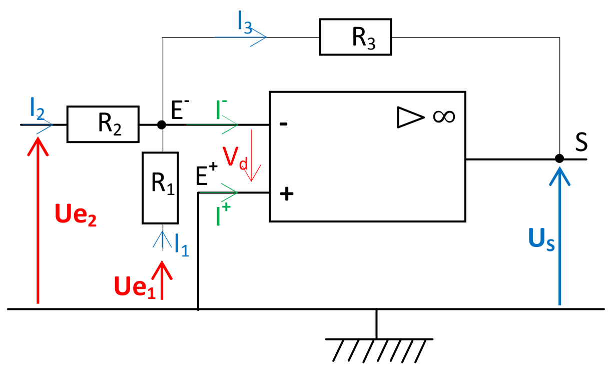


4- Montage sommateur-inverseur

On donne $R_1 = R_2 = R_3 = 1kΩ$.

- Regime linéaire ; $I^+ = I^- = 0$.
- Tensions ; $Ue_1 = R_1I_1$, $Ue_2 = R_2I_2$ et $Us = -R_3I_3$
- Intensités ; $I_3 = I_1 + I_2$.
  - $Us /R_3 = Ue_1/R_1 + Ue_2/R_2$

  Donc $Us = -(Ue_1 +Ue_2)$.



Travaux dirigés

Exercice 1

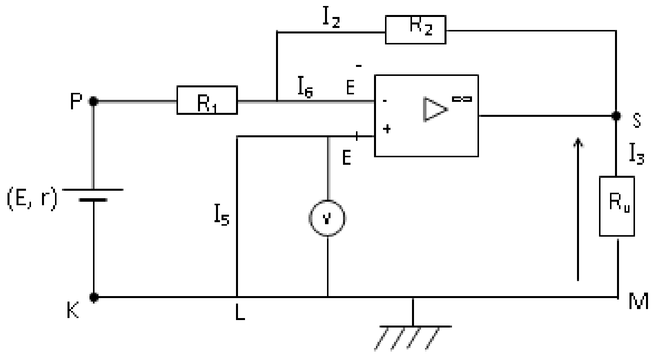
On réalise le montage ci-dessous. On donne : R_1= 100Ω ; R_2 = $5R_1$; R_u = 2kΩ ; E = 2V ; r = 20Ω.

On note: $U_e = U_{PK}$, $U_S = U_{SM}$, $U = U_{E^-L}$

1. Quelles sont les valeurs numériques des intensités I_5, I_6 et celle de la tension U?
2. Exprimer l'intensité I_1 du courant débité par le générateur en fonction de la f.é.m. E et des résistances r et R_1. Faire l'application numérique.
3. Quel est son sens de l'intensité I_2 du courant traversant R_2? Calculer sa valeur.
4. Donner un nom à ce montage. Calculer le coefficient d'amplification.
5. Calculer :

5.2. La tension U_s.

5.1. Les intensités I_3 et I_4 à la sortie de l'AO.

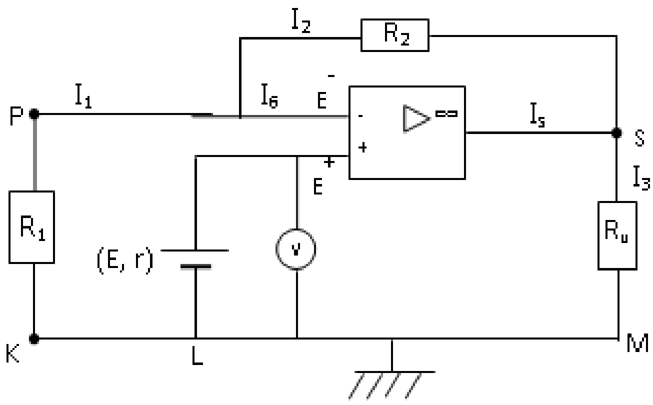


Exercice 2

Soit le montage ci-dessous. On donne : R_1=200Ω; R_2= $4R_1$; E=1,8V ; r=2Ω.

On note : $U_e=U_{E+L}$; $U = U_{E+M}$; $U_S = U_{SM}$.

1. Calculer U_e. Dépend-elle de r ?
2. Déterminer U.
3. Calculer les intensités I_1 et I_2. Indiquer leur sens.
4. Calculer le coefficient d'amplification en tension du montage. En déduire la valeur de U_s.
5. L'intensité I_S = 20mA. Calculer I_3 et R_u.



Exercice 3

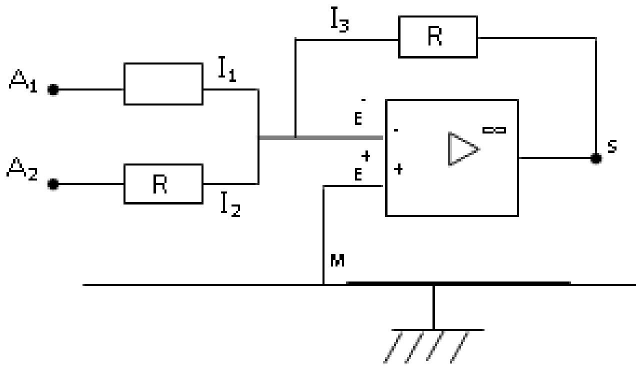
Dans le montage ci-contre, toutes les résistances sont identiques.

On donne : $R=500\Omega$, $U_{e1}=U_{A1M}=6V$, $U_{e2}=U_{A2M}=2V$ puis on note $U=U_{E\text{-}M}$ et $Us=U_{SM}$.

1. Calculer la tension U.
2. Calculer I_1 et I_2. Indiquer leur sens.
3. Donner l'expression littérale de I_3, en fonction de U_S et de R.
4. Trouvez une relation entre I_1, I_2 et I_3.

Calculer I_3.

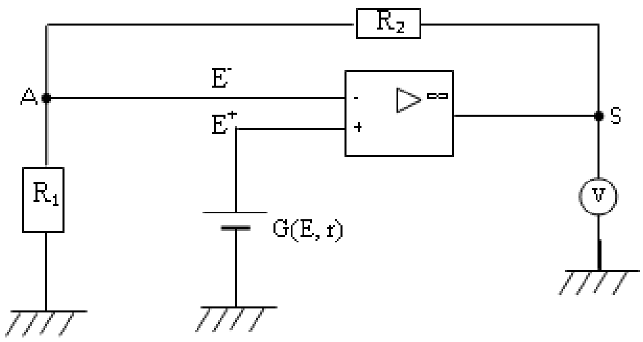
5. Exprimer U_S en fonction de U_{e1} et U_{e2}. Calculer U_S.
6. Donner un nom à ce montage. Justifier votre réponse.



Exercice 4

1. On considère le montage ci-dessous. Le voltmètre indique une tension $U_s = 10V$.

On donne : $R_1 = 1k\Omega$ et $R_2 = 4k\Omega$.



1.1. De quel montage s'agit-il ?

1.2. Déterminer le gain et la fém. E du générateur. On supposera sa résistance interne négligeable.

1.3. Calculer U_{SA} et U_{AM}.

1.4. Déterminer sur le schéma le sens de l'intensité du courant qui traverse les conducteurs ohmiques R_1 et R_2.

Calculer sa valeur.

2. La tension de saturation de l'amplificateur opérationnel est $V_{sat}=15V$.

Compléter le tableau suivant.

E(V)	0	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4
U_s(V)								

Exercice 5

1. On considère le montage ci-contre où $R_1 = 50\Omega$ et $R_2 = 100\Omega$.

1.1. Donner le nom du montage.

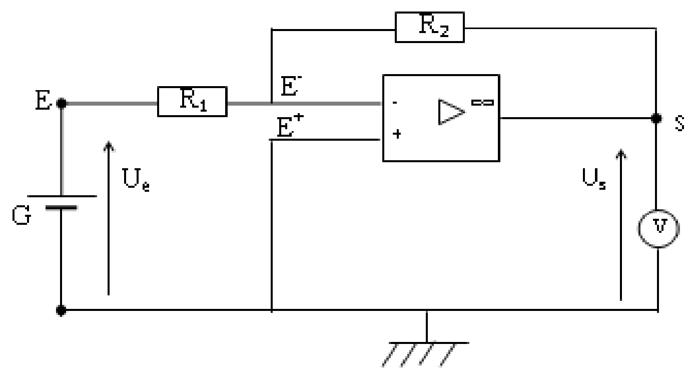
1.2. Le calibre du voltmètre est 5V. L'aiguille indique 60 divisions.
Quelle est la valeur de la tension de sortie Us ?

1.3. En déduire le gain et déterminer la valeur de la tension d'entrée U_e.

2. La tension d'entrée est réalisée à l'aide d'une pile de fém. E et de résistance interne $r = 5\Omega$.

2.1. Calculer l'intensité I_1 débitée par la pile.

2.2. En déduire la valeur de E.



Optique

Titre du cours : **Introduction à l'optique géométrique**

Objectifs spécifiques

- Connaitre quelques définitions utilisées en optique géométrique.

Plan du cours

Voir cours

Introduction à l'optique géométrique

I - Définitions

1- Source de lumière

Une source de lumière (ou source lumineuse) est un corps qui émet de la lumière. On en distingue deux types : les sources primaires et les sources secondaires.

1.1- Source primaire

Une source primaire est un corps qui produit et émet de la lumière.

Exemple : le soleil, une bougie allumée, une lampe à incandescence, les étoiles, …

1.2- Source secondaire

Une source secondaire de lumière est un corps qui émet de la lumière lorsqu'il est lui-même éclairé par une source primaire. On les appelle les corps diffusants.

Exemple : la lune, un miroir, tout corps visible (stylo, table, livre, …), …

2- Récepteur de lumière

Un récepteur de lumière est un corps dont les propriétés varient quand il reçoit de la lumière (corps sensible à la lumière qu'il reçoit).

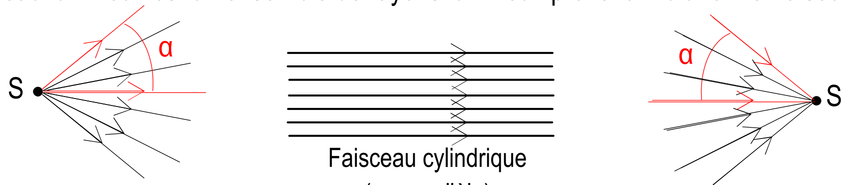
Exemple : l'œil, les photopiles, diode électroluminescence (LDR), …

3- Rayon lumineux

Un rayon lumineux est le chemin rectiligne suivi par la lumière pour aller d'un point A à un point B.

4- Faisceau lumineux

Un faisceau lumineux est un ensemble de rayons lumineux provenant d'une même source de lumière.



Faisceau divergent — Faisceau cylindrique (ou parallèle) — Faisceau convergent

Remarque

L'ensemble des rayons lumineux contenu dans l'angle α défini un pinceau lumineux

5- Milieu de propagation

C'est le milieu dans lequel se déplace le rayon lumineux.

6- Lumière monochromatique

Une lumière monochromatique est une lumière (radiation lumineuse) caractérisée par une seule couleur donnée. Elle s'identifie par sa longueur d'onde λ dans le milieu de propagation, et la fréquence υ de la source émettrice.

7- Célérité de la lumière

La célérité $C = 3.10^8$m/s de la lumière est la vitesse de propagation de la lumière dans le vide.

8- Longueur d'onde

La longueur d'onde λ est la distance parcourue par une onde dans le milieu de propagation considérée pendant une période.

9- Fréquence

La fréquence d'une onde est l'inverse de sa période.

Elle est liée à la longueur d'onde par la relation $N = \frac{C}{\lambda}$.

Remarque

*1- **La lumière** est une onde lumineuse caractérisée par sa période (la plus petite durée au cours de laquelle l'onde lumineuse se répète identiquement à elle-même), sa fréquence (le nombre de période par seconde ou tout simplement l'inverse de la période), sa longueur d'onde (la distance parcourue par l'onde pendant une période).*

*2- **Une onde** est une vibration se propageant de proche en proche et caractérisée par son amplitude et sa fréquence*

*3- **Une vibration** est une variation répétitive et alternative d'un choc mécanique ou électrique produit par un système.*

*4- **La fréquence** est la répétition à intervalles de temps réguliers d'une vibration. La fréquence est donc le nombre de vibrations ondulatoires par unité de temps.*

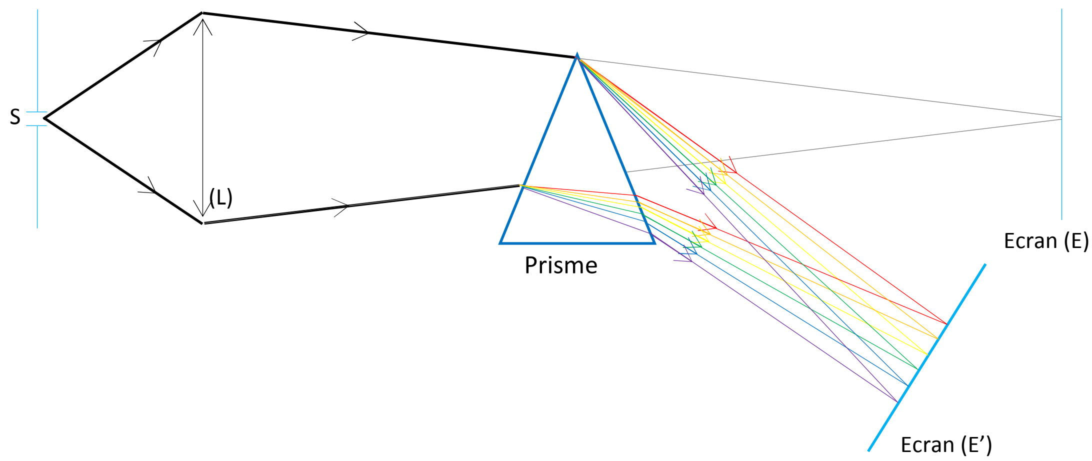
II – Dispersion de la lumière blanche

1- Prisme

Un prisme est un milieu transparent limité par deux faces planes non parallèles. Tout rayon lumineux qui traverse un prisme est dévié vers sa base (la base du prisme). C'est le phénomène de déviation (ou de dispersion). La lumière blanche est constituée de plusieurs lumières (ou radiations) colorées. On dit que la lumière blanche est polychromatique.

2- Dispersion de la lumière blanche par un prisme

Certains dispositifs tels que le prisme permettent de décomposer la lumière blanche en spectre continu du rouge au violet.



Remarque

1- En absence du prisme, l'image de la source S se forme sur l'écran (E).

*En présence du prisme, la lumière blanche est décomposée en **spectre** et observée sur l'écran (E').*

Un peu d'histoire de la science

Newton, sir Isaac *(1642-1727), mathématicien, physicien et astronome anglais, considéré comme l'un des plus grands scientifiques de l'histoire.*

Newton a apporté d'importantes contributions dans de nombreux domaines de la science, qui sont à la base d'une grande partie des progrès scientifiques réalisés depuis le XVII^{e} siècle. Ses découvertes les plus connues s'inscrivent dans trois domaines : les mathématiques, où il est l'un des inventeurs du calcul infinitésimal ; l'optique, avec la découverte de la dispersion de la lumière et la théorie des couleurs ; la mécanique, où il a découvert et élaboré les lois de la gravitation universelle.

Dans le domaine de l'optique, Newton construit le premier télescope en 1671. Il développe ensuite la théorie de la lumière et de la couleur. Ses premiers résultats sont publiés en 1672, dans le journal Royal Society's Transaction. Ils soulèvent aussitôt de fortes contestations qui amèneront par la suite Newton à rester discret sur ses découvertes. C'est seulement en 1704, qu'il publie son ouvrage fameux, Opticks, dans lequel il explique en détails toutes les théories qu'il a pu établir dans le domaine de l'optique. Ses résultats impressionnants concernent aussi bien l'instrumentation que les lois physiques. Ainsi Newton explique les phénomènes de réflexion et de réfraction de la lumière, la formation des images par les lentilles, le mode de fonctionnement de l'œil, la dispersion de la lumière blanche par le prisme et la recomposition des différents types de lumière avec, par exemple, l'expérience du disque de Newton. Il établit les bases de la théorie des couleurs, donne une explication précise du phénomène de l'arc-en-ciel et met en évidence les effets de coloration des lames minces.

Titre du cours : **Réflexion et réfraction de la lumière**

Objectifs spécifiques
- Appliquer les lois de la réflexion
- Appliquer les lois de la réfraction.

Plan du cours
Voir cours

Réflexion et réfraction de la lumière

I – Réflexion

1- Miroir plan

Un miroir plan est une surface plane en verre dont l'une des faces est argentée, le dos de cette face est recouverte d'une substance opaque (qui ne laisse pas passer la lumière).

2- 1ère loi de Descartes

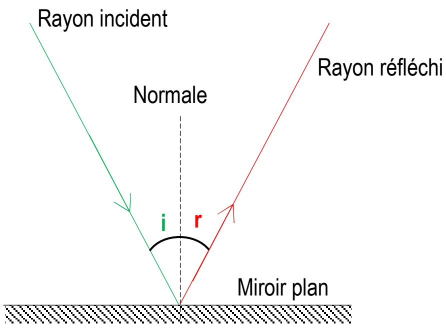
Sur une surface de séparation de deux milieux transparents, le rayon incident, le rayon réfléchi et le rayon réfracté sont un même plan perpendiculaire à la surface de séparation.

3- Réflexion

3.1- Définition

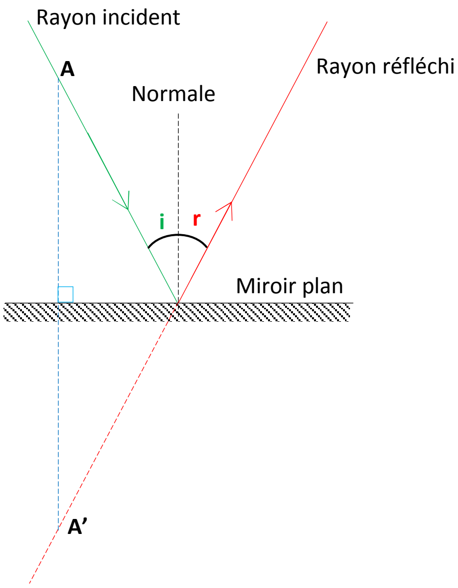
La réflexion d'un rayon lumineux est le renvoie de celui-ci dans le même milieu de propagation dans une direction bien déterminée lorsqu'il rencontre une surface polie ou un miroir.

3.2- Représentation de rayons lumineux



D'après la 2ème loi de Descartes, l'angle d'incidence i et l'angle de réflexion r sont tels que ; **i = r**.

3.3- Image d'un point lumineux donnée par un miroir plan



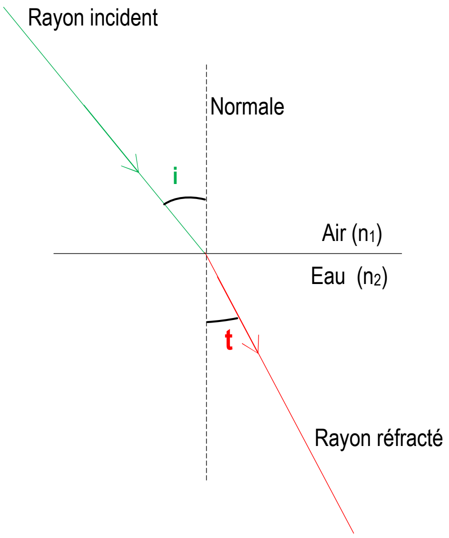
L'image d'un point lumineux donnée par un miroir plan est le symétrique de cet objet par rapport au plan du miroir.

II- Réfraction

1- Définition

La réfraction d'un rayon lumineux est le brusque changement de direction de celui-ci lorsqu'il passe d'un milieu à un autre d'indice de réfraction différent.

2- Représentation de rayons lumineux

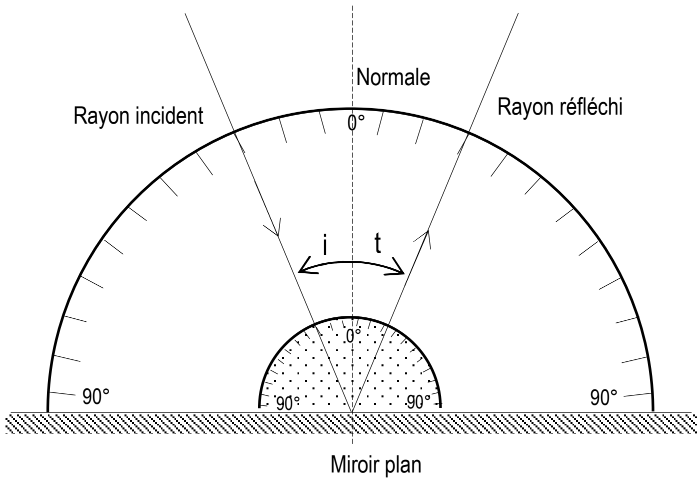


L'angle d'incidence i et l'angle de réfraction t sont différents.

3- Approche expérimentale de la 3ème loi de Descartes

3.1- Dispositif expérimental - Expérience

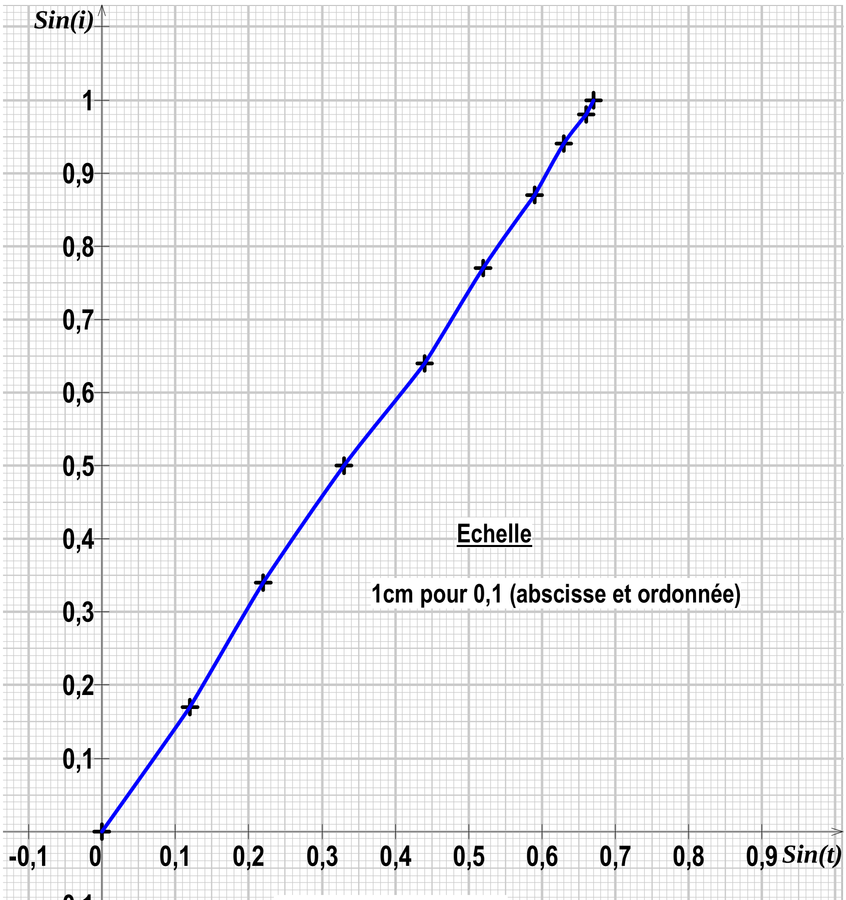
A l'aide du dispositif expérimental ci-contre, étudions la variation de l'angle d'incidence i d'un rayon lumineux se propageant dans l'air en fonction de l'angle de réfraction t de ce rayon dans le verre ordinaire placé dans le disque. On obtient le tableau ci-dessous.



3.2- Résultats

i(en °C)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
t(en °C)	0	7	13	19	26	31	36	39	41	42
Sin i	0	0,17	0,34	0,5	0,64	0,77	0,87	0,94	0,98	1
Sin t	0	0,12	0,22	0,33	0,44	0,52	0,59	0,63	0,66	0 ,67

Courbe sini = f(sint)



Courbe Sin(i) = f[Sin(t)]

La courbe sin(i) = f[sin(t)] est une droite passant croissante par l'origine des axes.
Sin(i) est proportionnel à sin(t).
Le coefficient de proportionnalité est, dans notre expérience, a = sin(i)/sin(t) ≈ 1,5.

3.3- Conclusion

Lorsqu'un rayon incident se propageant dans l'air rencontre la surface du verre ordinaire, il est réfracté suivant la relation sin(i) = 1,5.sin(t).

4- Généralisation

Lorsqu'un rayon lumineux incident se propageant dans un milieu d'indice de réfraction n_1 rencontre un autre milieu d'indice de réfraction n_2, il est réfracté suivant la relation $n_1.\sin(i) = n_2.\sin(t)$ (appelée la 3ème loi de Descartes ou la loi de réfraction).

5- Indice de réfraction et loi de réfraction

5.1- Indice de réfraction

L'indice de réfraction n_1 d'un milieu transparent est égal au rapport de la célérité (la vitesse) du rayon lumineux dans le vide à la célérité du même rayon lumineux dans le milieu transparent considéré.
On a ; $n_1 = C/C_1$ et est sans unité.

Exemples

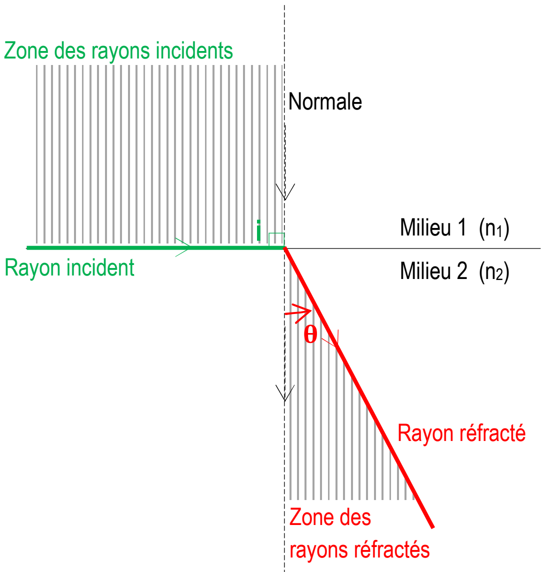
	Corps	Indice de réfraction
Solides	Glace	1,31
	Verre ordinaire	1,5
	Diamant	2,42
Liquides	Eau	4/3
	Ethanol	1,36
Gaz	Air	1
	Diazote	1
	Dioxygène	1

5.2- Interprétation de la loi de réfraction

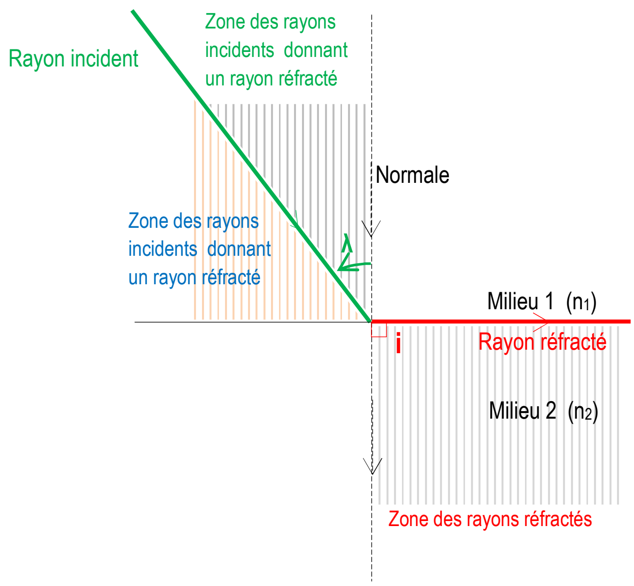
Loi de réfraction ; $n_1.\sin i = n_2.\sin t$.	
Milieu 1 (d'indice n_1)	Milieu 2 (d'indice n_2)
Le milieu 2 est plus réfringent que le milieu 1.	Le milieu 2 est moins réfringent que le milieu 1.
$n_2 > n_1$	$n_2 < n_1$
$\sin t = (n_1/n_2).\sin i$, or $n_1/n_2 < 1$ donc $\sin t < \sin i$	$\sin t = (n_1/n_2).\sin i$, or $n_1/n_2 > 1$ donc $\sin t > \sin i$
$t < i$ (sauf incidence normale où $i = t = 0$).	$t > i$ (sauf incidence normale où $i = t = 0$).
Le rayon réfracté se rapproche de la normale au point d'incidence.	Le rayon réfracté s'écarte de la normale au point d'incidence.
L'angle d'incidence i varie de 0° à 90° et l'angle de réfraction t, de 0° à la valeur limite θ, appelée angle de réfraction limite.	L'angle d'incidence i varie de 0° à la valeur limite λ, appelé angle d'incidence limite (*λ vérifie principe du retour inverse de la lumière*), l'angle de réfraction t, de 0° à 90°.
Pour $i = 90°$, $t = \theta$ et $\sin\theta = n_1/n_2$ *Passage de l'air à l'eau ; $\sin\theta = 4/3$ donc $\theta = 49°$*	Pour $i = \lambda$, $t = 90°$. Lorsque $i > \lambda$, il n'y a plus de réfraction. On parle de réflexion totale.

Remarque *Tous les angles sont mesurés à partir de la normale.*

5.3- Représentation de rayons incidents et réfractés



$n_1 > n_2$



$n_1 < n_2$

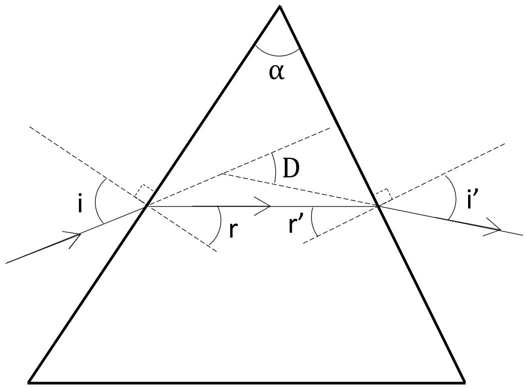
5.4- Réfraction et dispersion de la lumière blanche par un prisme

La réfraction de la lumière blanche est le brusque changement de direction des rayons lumineux lorsqu'ils passent d'un milieu à un autre d'indice de réfraction différent.

L'indice de réfraction dépendant de la longueur d'onde de la lumière, les différentes radiations sont plus ou moins déviées au passage d'un milieu à un autre. C'est le phénomène de la dispersion.

Si le milieu 1 est l'air, et le milieu 2 est un prisme transparent d'indice de réfraction n et d'angle au sommet α (voir la figure ci-dessous), les différents angles vérifient les relations suivantes :

$\sin i = n \sin r$, $\sin i' = n \sin r'$, $\alpha = r + r'$, $D = i + i' - \alpha$.
D est la déviation des rayons traversant le prisme.



Application 1

1. Qu'est-ce qu'une source primaire de lumière ? Qu'est-ce qu'une source secondaire de lumière ?
2. Qu'est-ce qu'un récepteur de lumière ?
3. Qu'est-ce que la réflexion d'un rayon lumineux ?
4. Qu'est-ce que la réfraction d'un rayon lumineux ?

Application 2

1. Question de cours

1.1. Quand dit-on qu'un milieu d'indice de réfraction n_2 est plus réfringent qu'un milieu d'indice de réfraction n_1 ?

1.2. Comparer les vitesses de propagation de la lumière dans ces deux milieux.

2. compléter les phrases suivantes:

2.1. Le phénomène de ………………………… se produit lorsque la lumière change de propagation.

2.2. Lors de la …………………………… il existe une direction privilégiée pour laquelle la lumière est renvoyée avec le maximum d'intensité.

2.3. La réflexion totale se produit lorsqu'un rayon lumineux arrive d'un milieu d'indice n_1 sur la surface de séparation d'un milieu d'indice n_2 ……………………….. , sous un angle ……………………….. à l'angle de réfraction limite.

3. un rayon lumineux passe d'un milieu d'indice n_1 à un milieu plus réfringent d'indice n_2 ($n_2>n_1$). Qu'appelle-t-on angle limite de réfraction ?

4. un rayon lumineux passe d'un milieu d'indice n_1 à un milieu moins réfringent d'indice n_2 ($n_2<n_1$).

4.1. Qu'appelle-t-on angle d'incidence limite ?

4.2. Que se passe-t-il si l'angle d'incidence est supérieur à cette valeur ?

Travaux dirigés

Exercice 1

Un point lumineux A_1 se trouve au fond d'une cuve remplie d'eau, d'indice n_1=1,33.

1. Tracer la marche d'un rayon lumineux faisant un angle i avec la verticale passant par A_1.
2. Montrer que tous les rayons, peu inclinés par rapport à la verticale et réfractés dans l'eau, se trouvant au dessus de la cuve, semblent provenir d'un point A_2.
3. Un observateur situé hors de l'eau peut-il affirmer :

3.1. Qu'il faut viser sous le poisson pour le harponner ?

3.2. Qu'une piscine semble toujours moins profonde qu'elle ne l'est en réalité ?

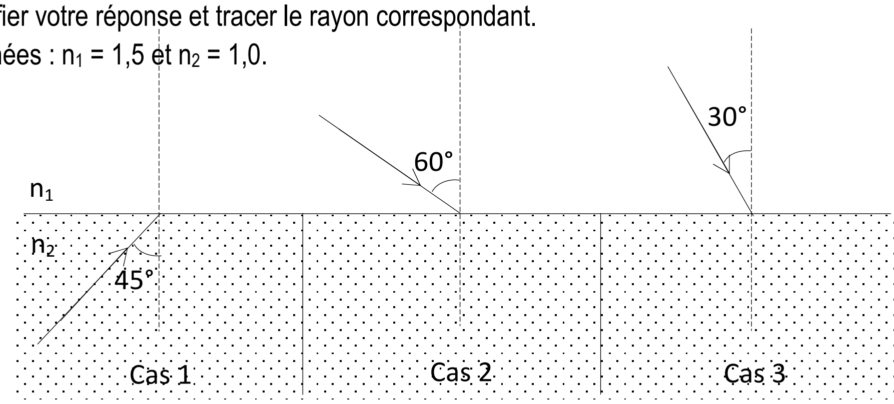
4. Un poisson est à 1m de profondeur. A quelle distance de la surface aperçoit-on ce poisson ?

5. Un nageur hors de la piscine voit le fond du bassin à 2,5m. Déterminer la profondeur de la piscine.

Exercice 2

Dans les trois cas précédents sur les figures ci-dessous, déterminer s'il y a réflexion totale ou non. Justifier votre réponse et tracer le rayon correspondant.

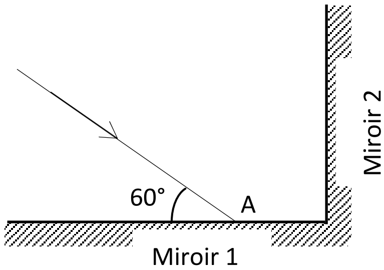
Données : $n_1 = 1,5$ et $n_2 = 1,0$.



Exercice 3

On dispose de deux miroirs plans M_1 et M_2 perpendiculaires. Un rayon lumineux arrive sur le miroir M_1 en un point A comme indiqué sur la figure ci-contre.

1. Quel est l'angle d'incidence i_1 du rayon sur M_1 ?
2. Soit B le point de rencontre du rayon réfléchi par M_1 avec M_2. Représenter le rayon AB.
3. Donner la valeur d l'angle d'incidence i_2 sur le miroir M_2.
4. Représenter le rayon BC réfléchi par M_2.



Exercice 4

On utilise un prisme en verre d'indice n = 1,50.

Sa section principale est un triangle ABC, rectangle en A tel que l'angle en B soit égal à 70°. Un rayon lumineux émit perpendiculairement au coté BC, rencontre le prisme en I.

Sachant que le rayon incident est dans l'air, étudier la marche de la lumière jusqu'à la sortie du prisme.

Exercice 5

1. Prisme et marche de rayons lumineux

Un prisme d'angle au sommet α = 60° est constitué d'un verre d'indice n = 1,50 pour la lumière jaune.

1.1- Représenter sur un schéma la marche de ce rayon lumineux.

1.2- Calculer la déviation D subie par un rayon lumineux jaune arrivant sous une incidence i = 45° ?

2. Déviation minimale

Un faisceau lumineux arrive sous l'incidence i sur un prisme d'angle au sommet α = 60°. Le tableau ci-dessous donne, en fonction des valeurs de l'angle i, les valeurs de la déviation D du faisceau, exprimée en degrés.

I	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90
D	47	41	38	37	37	38	39	41	43	46	49	53	58

2.1- Tracer la courbe D = f(i), et en déduire la déviation minimale D_m.

2.2- Vérifier qu'au minimum de déviation, i = i'.

2.3- Un rayon lumineux issu d'une source de lumière monochromatique atteint la face plane d'un prisme d'indice de réfraction n. Il subit deux réfractions. Les angles vérifient les relations suivantes :

$r + r' = \alpha$ et $i + i' - \alpha = \theta$ où θ est la déviation du rayon lumineux incident (voir la figure ci-contre).

a/ Donner la relation qui existe, d'une part entre i et r et d'autre part entre i' et r'.

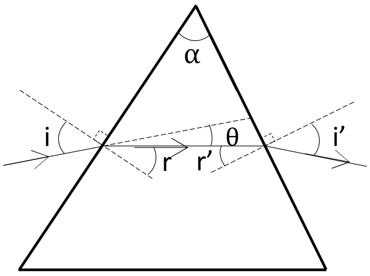
b/ Calculer i', r, r' et θ pour $\alpha = 60°$, $n = 1{,}5$ et $i = 40°$.

2.4- On utilise le prisme de telle façon que $i = i'$.

a/ Montrer que dans ces conditions $\alpha = 2r$ et $\theta = 2i - \alpha$.

b/ En déduire que l'indice de réfraction du prisme est $n = \dfrac{\sin \frac{\alpha+\theta}{2}}{\sin \frac{\alpha}{2}}$

c/ Calculer n pour $\alpha = 60°$ et $\theta = 39°$.



Un peu d'histoire de la science

Descartes, René *(1596-1650), philosophe, scientifique et mathématicien français, un des promoteurs du rationalisme moderne.*

Descartes est né à La Haye (aujourd'hui Descartes, Indre-et-Loire), d'un père conseiller au Parlement de Rennes, et d'une mère décédée un an après sa naissance. De 1607 à 1615, il suit l'enseignement des jésuites au collège royal de La Flèche. En 1616, il passe à Poitiers une licence en droit, mais n'embrasse pas la carrière qui s'ouvre à lui. Il prend les armes et commence à voyager. En 1618, à Breda (Pays-Bas), il fait la rencontre d'Isaac Beeckman qui oriente de manière décisive sa vocation scientifique, puis voyage en Allemagne et en Italie. De 1625 à 1628, il fréquente les milieux scientifiques et littéraires parisiens, puis s'installe aux Pays-Bas, où il rédige l'essentiel de son œuvre philosophique et scientifique. Directement, ou par l'intermédiaire de l'abbé Mersenne, il est en contact avec de nombreuses personnalités scientifiques de l'époque, notamment Bérulle, Gassendi, Hobbes, Fermat, Arnauld et Pascal. Appelé à la cour de Suède en 1649, il meurt peu après à Stockholm, le 11 février 1650, léguant à la postérité une œuvre féconde et profondément novatrice.

Dès l'élaboration des Règles pour la direction de l'esprit (inachevé, v. 1628), Descartes affirme l'unité du savoir et de l'esprit humain, nonobstant la diversité des objets auxquels il s'applique. Toutes les sciences sont subordonnées à une science première, la mathesis universalis, science universelle de l'ordre et de la mesure. C'est cette intuition fondamentale qui sous-tend le célèbre Discours de la méthode pour bien conduire sa raison et chercher la vérité dans les sciences (publié sans nom d'auteur, 1637), dont le titre initialement prévu était Projet d'une Science universelle qui puisse élever notre nature à son plus haut degré de perfection. C'est encore cette idée de l'unité de la science qui réapparaît dans la Lettre-préface des Principes de la philosophie (1644, et 1647 pour la traduction française) où Descartes présente toute la philosophie comme un arbre dont « les racines sont la métaphysique, le tronc est la physique, et les branches qui sortent de ce tronc sont toutes les autres sciences qui se réduisent à trois principales, à savoir la médecine, la mécanique et la morale ».

Titre du cours : **Les lentilles minces**

Objectifs spécifiques
- Appliquer le vocabulaire relatif aux lentilles minces.
- Représenter l'image d'un objet à travers une lentille mince.
- Appliquer les formules de conjugaison.

Plan du cours
Voir cours

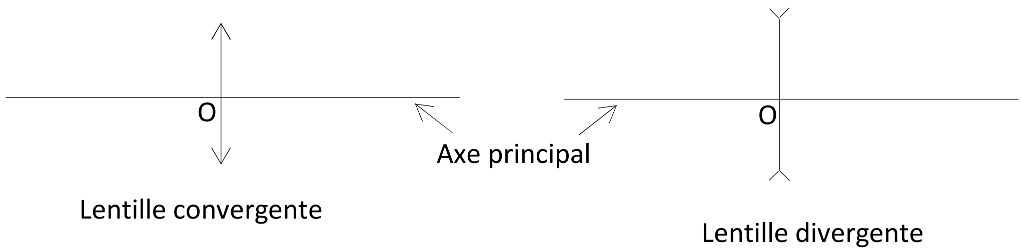
Les lentilles minces

I- Lentilles

1- Définition

Une lentille est un milieu transparent limité par deux surfaces sphériques ou une surface sphérique et un plan. Lorsque l'épaisseur de la lentille est négligeable devant le rayon de la surface sphérique, la lentille est dite mince.

2- Symbole de lentilles minces



Le point O est appelé le centre optique.

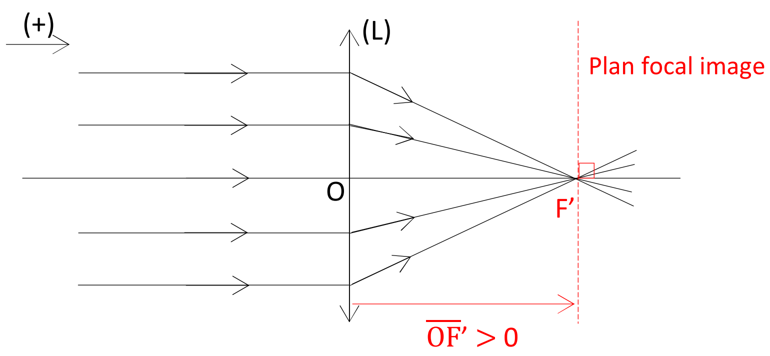
3- Propriété du centre optique

Tout rayon incident passant par le centre optique O d'une lentille (convergente ou divergente) en émerge sans être dévié.

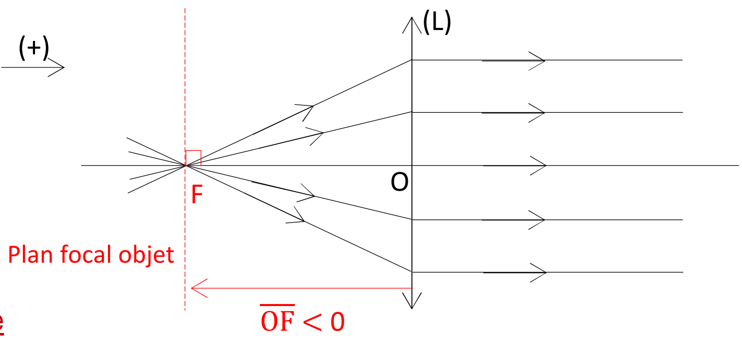
4- Foyers principaux - distance focale - vergence

4.1- Foyer principal image et foyer principal objet

- Tout rayon incident parallèle à l'axe principal d'une lentille convergente émerge en passant par un point F' de l'axe principal appelé foyer principal image.



- C'est le point de l'axe principal noté F situé avant la lentille tel que tout rayon incident passant par ce point émerge de la lentille parallèlement à l'axe principal.



4.2- Distance focale

On appelle la distance focale, la distance $\overline{OF'}$ = f' exprimée en mètre (m).

Remarque

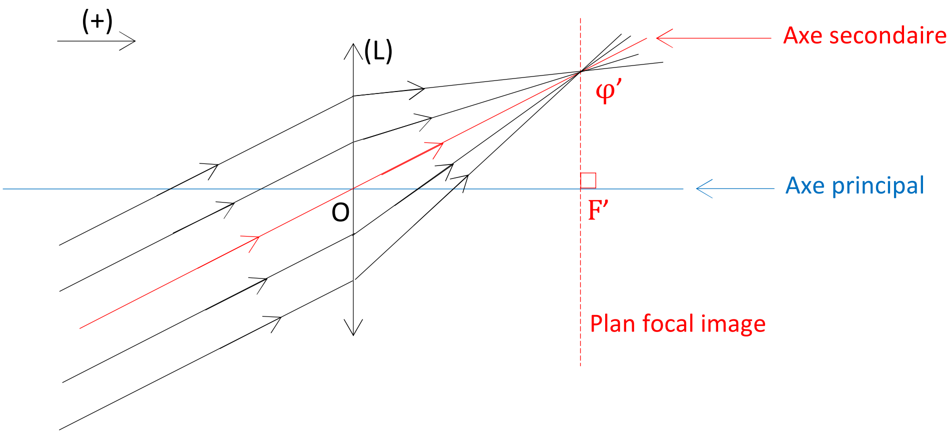
Pour une lentille convergente, $\overline{OF'}$ = f' > 0. Les points F et F' sont symétriques par rapport à O.

4.3- Vergence

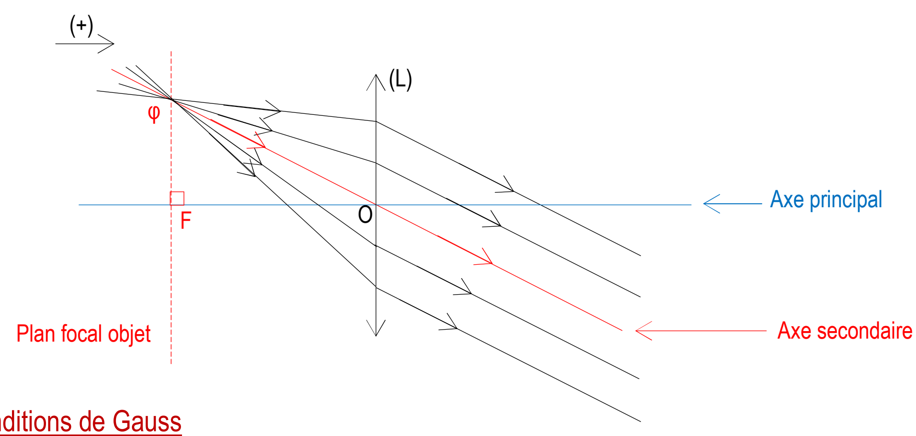
La vergence notée C d'une lentille est l'inverse de sa distance focale.
Elle s'exprime en dioptrie (δ). C = 1/f.

5- Foyer secondaire image et foyer secondaire objet

- Un faisceau de rayon parallèle, incliné sur l'axe principal donne un faisceau émergent dont les supports convergent en un point φ' appelé foyer secondaire image. Le point φ' appartient au plan focal image.



- Tout rayon issu d'un point φ du plan focal objet, émerge de la lentille parallèlement à l'axe secondaire (Oφ).

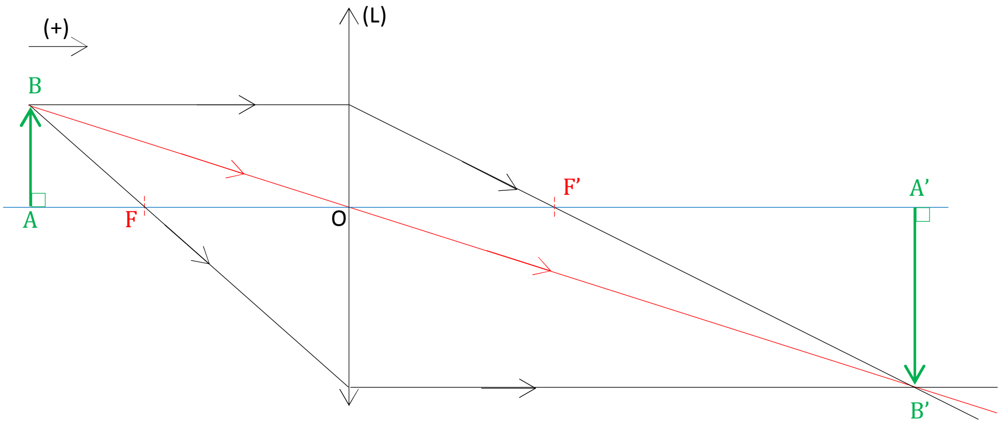


6- Conditions de Gauss

Dans les conditions de Gauss, un objet AB perpendiculaire à l'axe principal donne une image A'B' perpendiculaire à cet axe.

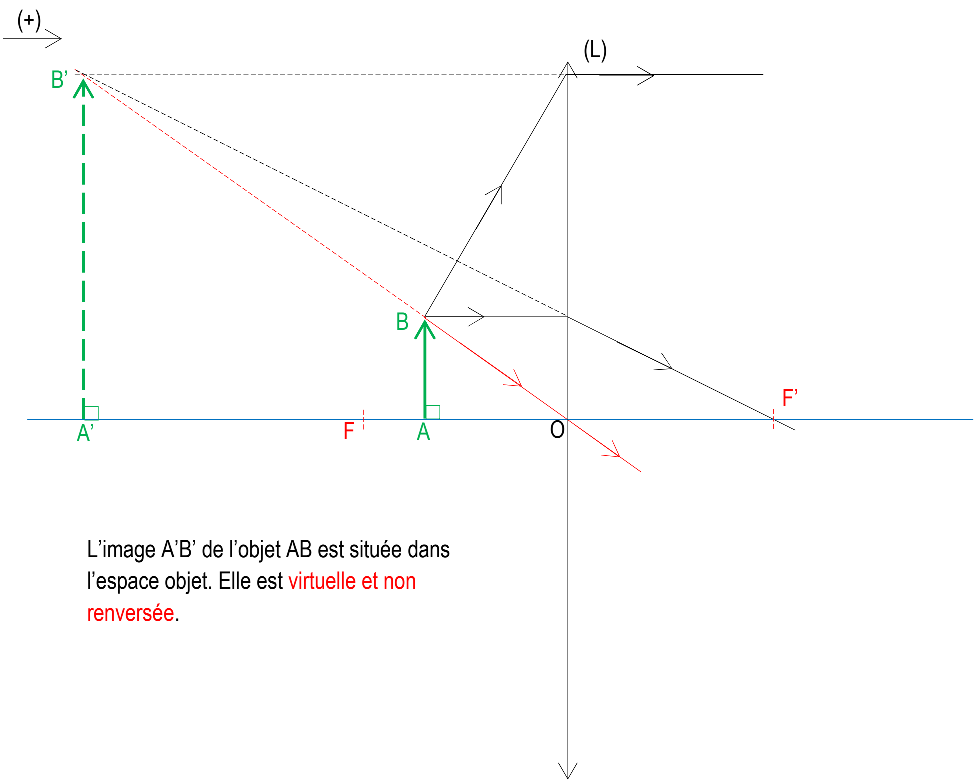
II- Construction d'image à travers une lentille convergente

1- Image d'un objet réel situé avant le foyer objet



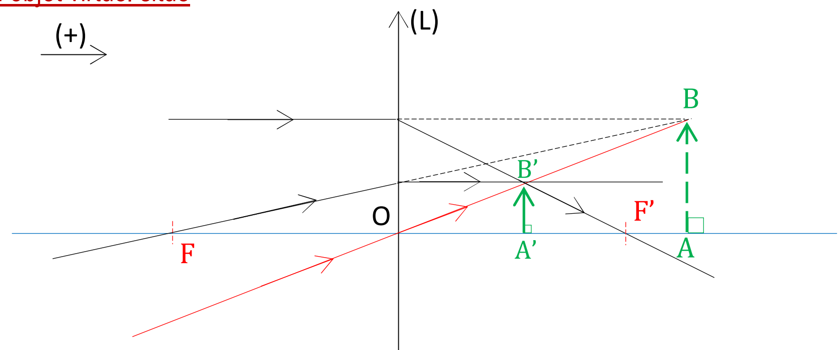
L'image A'B' de l'objet AB est réelle et renversée.

2- Image d'un objet réel situé entre le foyer objet et le centre optique



L'image A'B' de l'objet AB est située dans l'espace objet. Elle est virtuelle et non renversée.

3- Image d'un objet virtuel situé



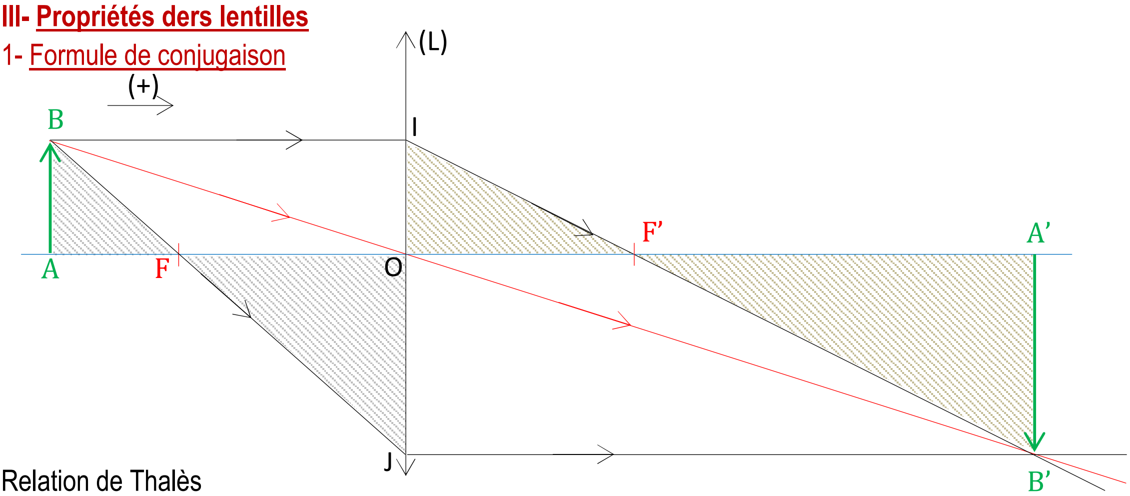
L'image A'B' de l'objet AB est
réelle et non renversée.

4- Image d'un objet à l'infini

L'image d'un objet situé dans l'espace objet et à l'infini est située dans le plan focal image.

III- Propriétés ders lentilles

1- Formule de conjugaison



Relation de Thalès

- Les droites (AB) et (OJ) sont parallèles. Les droites (AO) et (BJ) sont sécantes en F.

$\frac{\overline{AB}}{\overline{OJ}} = \frac{\overline{FA}}{\overline{FO}}$ or $\overline{OJ} = \overline{A'B'}$ et $\overline{FO} = \overline{OF'} = f'$ d'où $\frac{\overline{AB}}{\overline{A'B'}} = \frac{\overline{FA}}{f'}$.

$\overline{FA} = \overline{FO} + \overline{OA} = f' + \overline{OA}$ donc $\frac{\overline{AB}}{\overline{A'B'}} = \frac{f' + \overline{OA}}{f'}$ (1).

- Les droites (OI) et (A'B') sont parallèles. Les droites (OA') et (IB') sont sécantes en F'.

$\frac{\overline{OI}}{\overline{A'B'}} = \frac{\overline{F'O}}{\overline{F'A'}}$ or $\overline{OI} = \overline{AB}$ et $\overline{F'O} = -\overline{OF'} = -f'$ d'où $\frac{\overline{AB}}{\overline{A'B'}} = \frac{-f'}{\overline{F'A'}}$.

$\overline{F'A'} = \overline{F'O} + \overline{OA'} = -f' + \overline{OA'}$ donc $\frac{\overline{AB}}{\overline{A'B'}} = \frac{f'}{f' - \overline{OA'}}$ (2).

De (1) et (2), on a ; $\frac{\overline{AB}}{\overline{A'B'}} = \frac{f' + \overline{OA}}{f'} = \frac{f'}{f' - \overline{OA'}}$.

$(f' + \overline{OA})(f' - \overline{OA'}) = (f')^2$ et $-f'(\overline{OA'} - \overline{OA}) = \overline{OA}.\overline{OA'}$ (3). En divisant les deux membres de la relation (3) par ; $f'.\overline{OA}.\overline{OA'}$, on obtient la relation suivante ; $\frac{1}{f'} = -\frac{1}{\overline{OA}} + \frac{1}{\overline{OA'}}$ appelée la formule de conjugaison des lentilles.

2- Grandissement

Le grandissement noté γ est le rapport, $\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}$. Le grandissement est sans unité.

Remarque

$\gamma > 0$; l'objet et son image sont de même sens. $\gamma < 0$; l'image est renversée par rapport à l'objet.

$|\gamma| > 1$; l'image est plus grande que l'objet. $|\gamma| < 1$; l'image est plus petite que l'objet.

3- Théorème des vergences

Lorsqu'on remplace deux lentilles minces accolées de vergences respectives C_1 et C_2, par une lentille mince de même centre optique, la vergence de celle-ci est $C = C_1 + C_2$.

Application 1

1. Qu'est-ce qu'une lentille ?
2. Qu'est-ce qu'une lentille convergente ?
3. Qu'est-ce qu'une lentille divergente ?
4. Définir les termes suivants:

4.1. Axe principal, centre optique, foyer principal objet, foyer principal image.

4.2. Plan focal objet, plan focal image, distance focal, vergence (donner leur unité).

5. Donner l'expression de la relation de conjugaison d'une lentille mince.

Application 2

A 16cm d'une lentille mince convergente de distance focale f'=10cm, on place un objet AB de 4cm de long perpendiculaire à l'axe optique.

1. Calculer la vergence de la lentille.
2. Sur une figure et à l'échelle 1/2, construire l'image A'B' de AB en n'utilisant que les rayons passant par les foyers.
3. Déterminer les caractéristiques (la position, la nature et la taille) de l'image A'B'.
4. En déduire le grandissement de la lentille.
5. Retrouver le grandissement à partir de la relation de conjugaison.

Application 3

Un objet lumineux AB, de hauteur 5cm, est placé perpendiculaire à l'axe principal d'une lentille mince convergente de distance focale 25cm. Le point A est situé sur l'axe optique.

1. Déterminer par le calcul, la position, la nature et la taille de l'image dans les cas suivants :

1.1. L'objet AB est réel et placé à 20cm de la lentille.

1.2. L'objet AB est virtuel et placé à 15cm de la lentille.

2. vérifier les résultats précédents par la construction géométrique.

Un peu d'histoire de la science


Science Source/Photo Researchers, Inc.

*Le mathématicien allemand **Carl Friedrich Gauss** contribua au développement de nombreux domaines mathématiques, dont la théorie des probabilités, l'algèbre et la géométrie. Il démontra que le nombre de racines (réelles et complexes) d'un polynôme est égal à son degré. Il s'agit du théorème fondamental de l'algèbre. Gauss appliqua également les mathématiques à l'électricité et au magnétisme. Le gauss est une unité d'induction magnétique.*

Sa vie

__Gauss, Carl Friedrich__ (1777-1855), mathématicien, physicien et __astronome allemand__, dit le prince des mathématiciens, qui apporta des contributions essentielles à la plupart des branches des sciences exactes et appliquées.

Né à Brunswick le 30 avril 1777, Gauss commença par étudier les langues anciennes, avant de s'intéresser aux mathématiques à l'âge de dix-sept ans. Ses tout premiers travaux en géométrie l'encouragèrent dans cette voie : abandonnant définitivement l'étude des langues, il se tourna vers les mathématiques qu'il étudia de 1795 à 1798 à l'université de Göttingen. En 1807, Gauss fut nommé professeur de mathématiques et directeur de l'observatoire de Göttingen, deux postes qu'il occupa jusqu'à sa mort, le 23 février 1855.

Ses travaux en astronomie

À partir de 1801, Gauss se pencha avec un intérêt croissant sur l'astronomie. Il s'attacha à déterminer la trajectoire d'un astéroïde, Cérès, qui avait été aperçu en 1801 avant de sombrer à nouveau dans l'espace intergalactique. Gauss parvint à calculer l'orbite de cet astéroïde en s'aidant d'une méthode d'approximation qu'il perfectionna considérablement, la méthode des moindres carrés. Cette méthode algébrique, élaborée par le mathématicien français Legendre, permet de résoudre par approximation des systèmes d'équations


Encyclopédie Encarta, Science Source/Photo Researchers, Inc.

__Huygens, Christiaan__ (1629-1695), astronome, mathématicien et physicien hollandais. Ses découvertes scientifiques nombreuses et originales lui valurent une large reconnaissance et les honneurs parmi les personnalités scientifiques du XVII^e^ siècle. Avec son Traité de la lumière (1690), il est à l'origine de la théorie ondulatoire de la lumière (qui plus tard prit son nom) : chaque point d'ondes en mouvement est lui-même source de nouvelles ondes (voir Optique). En 1655, il inventa une méthode de meulage et de polissage des lentilles d'optique. La définition plus fine ainsi obtenue lui permit de découvrir un satellite de Saturne et de fournir la première description précise des anneaux de Saturne. La nécessité de disposer d'une mesure exacte du temps pour l'observation du ciel l'amena à appliquer les lois du pendule composé pour régler les mouvements des horloges et montres. En 1656, il conçut une lunette de télescope qui porte son nom. Dans Horologium oscillatorium (1673), il détermina la véritable relation existant entre la longueur d'un pendule et la durée d'oscillation, et présenta ses théories sur la force centrifuge des mouvements circulaires, qui aidèrent le physicien anglais Isaac Newton à formuler les lois de la gravité. En 1678, il découvrit la polarisation de la lumière par double réfraction sur la calcite.


Encyclopédie Encarta, Science Photo Library/Photo Researchers, Inc.

__Hubble, Edwin Powell__ (1889-1953), astronome américain, qui a notamment prouvé l'existence de galaxies autres que la Voie lactée. Hubble est né à Marshfield (Missouri). De 1914 à 1917, il travaille à l'observatoire de Yerkes de l'université de Chicago, puis à l'observatoire du mont Wilson à partir de 1919, et enfin au mont Palomar à partir de 1948, où il dirige les recherches menées avec le télescope de 508 cm de diamètre. Mais Hubble est surtout connu pour avoir interprété le décalage vers le rouge du spectre des galaxies comme un effet Doppler-Fizeau, prouvant ainsi que les galaxies s'éloignent les unes des autres à une vitesse proportionnelle à leur éloignement (loi de Hubble, 1929). Cette loi a contribué largement au succès de la théorie du big bang (constante de Hubble). On a également donné le nom de Hubble au télescope spatial mis au point par la NASA et l'Agence spatiale européenne (ESA), mis sur orbite terrestre en 1990.