

ELECTRICITE

EL1 Champ électrostatique (=champ électrique de charges au repos)

1. Force d'interaction électrostatique. Loi de Coulomb.

Soient deux charges ponctuelles q_A et q_B situés à la distance r . Les deux charges interagissent par des forces électrostatiques qui obéissent au principe de l'action-réaction.



Coulomb établit expérimentalement (1784) que la force électrostatique entre ces 2 charges est:

- Proportionnelle à chacune des charges q_A et q_B
- inversement proportionnelle au carré de leur distance
- orientée selon AB $\left\{ \begin{array}{l} \text{répulsive pour 2 charges de même signe } q_A \cdot q_B > 0 \\ \text{attractive pour 2 charges de signes opposés } q_A \cdot q_B < 0 \end{array} \right.$

Loi de Coulomb:

En norme:
$$F = \frac{1}{4\pi \cdot \epsilon_0} \cdot \frac{|q_A \cdot q_B|}{r^2} = F_{A/B} = F_{B/A}$$

Unités: F en N; q_A et q_B en C; r en m

Permittivité du vide: $\epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} \frac{C^2}{N \cdot m^2}$ (constante physique)

$$k = \frac{1}{4\pi \cdot \epsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \frac{N \cdot m^2}{C^2} \text{ (plus facile à retenir)}$$

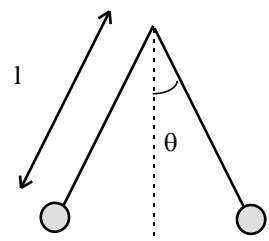
Vectoriellement:
$$\vec{F}_{A/B} = \frac{1}{4\pi \cdot \epsilon_0} \cdot \frac{q_A \cdot q_B}{r^2} \cdot \vec{u}_{AB} = -\vec{F}_{B/A} \quad \text{avec } \vec{u}_{A/B} = \frac{\vec{AB}}{\|\vec{AB}\|} \text{ vect.unitaire}$$

Exercices:

1) L'électron et le proton d'un noyau d'hydrogène sont séparés par une distance moyenne de $5,3 \cdot 10^{-11}m$.

Calculer l'intensité de la force électrostatique. Comparer au poids de chaque particule.

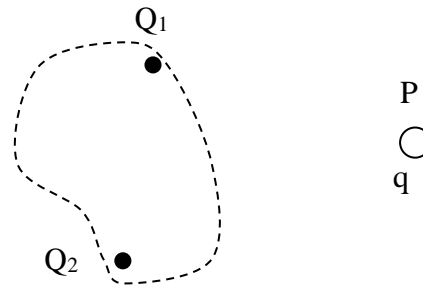
2) Deux sphères identiques de masses $m=30g$ portent chacune la même charge Q et pendent à l'équilibre comme l'indique la figure. Si la longueur des cordes vaut $l=0,15m$ et l'angle $\theta=5^\circ$ trouver la charge Q . Est-ce qu'on peut déduire le signe de la charge?



2. Vecteur champ électrostatique

Un corps chargé correspond à une répartition de charges $\{Q_1, Q_2\}$. Un tel corps exerce une force électrostatique sur toute charge « test » q placée en un point P à proximité. Cette force électrostatique est la résultante des 2 forces de Coulomb exercé par Q_1 resp. Q_2 sur q .

$$\begin{aligned}\vec{F} &= \vec{F}_1 + \vec{F}_2 \\ &= K \cdot \frac{q \cdot Q_1}{r_1^2} \cdot \vec{u}_1 + K \cdot \frac{q \cdot Q_2}{r_2^2} \cdot \vec{u}_2 \\ &= q \cdot \left\{ K \cdot \frac{Q_1}{r_1^2} \cdot \vec{u}_1 + K \cdot \frac{Q_2}{r_2^2} \cdot \vec{u}_2 \right\} \\ &= q \cdot \{ \text{vecteur qui traduit l'effet} \\ &\quad \text{électrique de } Q_1, Q_2 \text{ au point } P \} \\ &= q \cdot \vec{E}\end{aligned}$$



Ce raisonnement vaut pour un nombre quelconque de charges Q_i : Ainsi \vec{F} électrostatique est toujours proportionnel à q et dépend d'un vecteur \vec{E} associé à chaque point (= champ vectoriel).

Définition du vecteur champ électrostatique:

Il existe un champ électrostatique \vec{E} en un point P de l'espace, si une particule de charge q , placée en ce point, subit une force électrostatique \vec{F} .

Le vecteur champ électrostatique est défini par:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q} \quad \text{et s'exprime en } \frac{\text{N}}{\text{C}} = \frac{\text{V}}{\text{m}}$$

- Rem: 1) \vec{E} dépend des charges $\{Q_1, Q_2, \dots\}$ et du point P où l'on se trouve. Il se manifeste par ses effets sur la charge test q mais \vec{E} **ne dépend pas de q** , le champ existe sans q .
- 2) orientation de \vec{E} = orientation de la force électrostatique \vec{F} sur une charge q **positive**.
- 3) pour \vec{E} donné, la force électrostatique qui s'applique sur une charge q s'écrit:

$$\vec{F} = q \cdot \vec{E} \quad \text{F est proportionnel à } q \text{ et son orientation dépend du signe de } q.$$

Exercices:

3) Dans une région de l'espace on a le champ électrostatique

\vec{E} représenté sur la figure à l'échelle $10\text{kV/m} \Rightarrow 1\text{cm}$.

On place dans ce champ deux charges q_A et q_B .

a) Calculer et représenter la force qui s'exerce sur $q_A=2\text{pC}$ et $q_B=-4\text{pC}$. Indiquer une échelle convenable pour les forces.

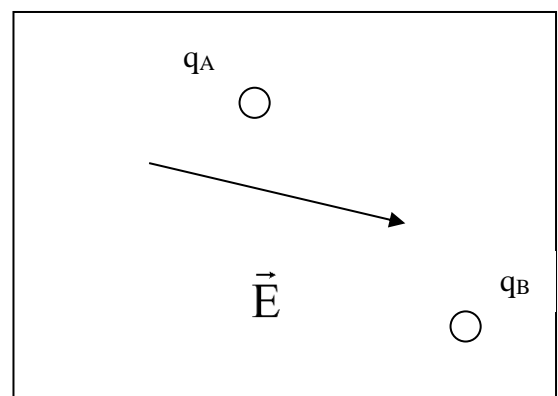
b) Vérifier qu'on peut négliger ici l'interaction entre q_A et q_B .

4) La charge $q_1=7\text{nC}$ est placée à l'origine la charge $q_2=5\text{nC}$ est située à 3cm de l'origine selon l'axe des y . Trouver le champ électrique au point P de coordonnées $(4, 0)\text{cm}$. Faire une figure. Echelle pour E : $10\text{kV/m} \Rightarrow 1\text{cm}$ sur la figure.

5) Une charge ponctuelle $q_1=3,2\text{ nC}$ est soumise à une force électrique avec $F_x=8 \cdot 10^{-6}\text{ N}$.

a) Décrivez le champ électrique extérieur responsable de cette force.

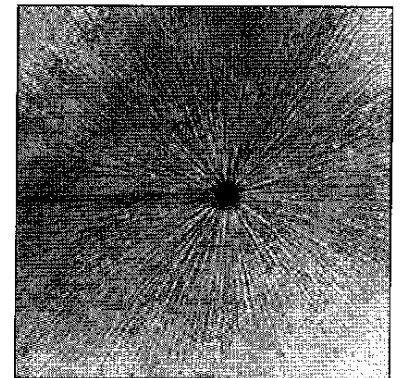
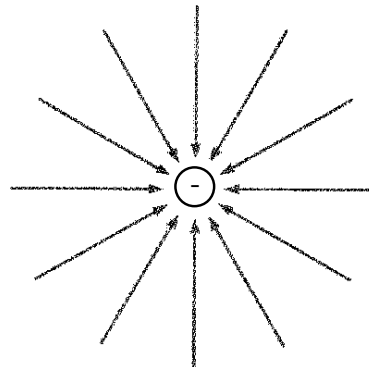
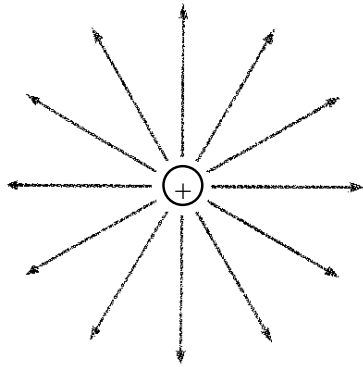
b) Quelle serait la force exercée sur une charge ponctuelle $q_2=-6,4\text{ nC}$ située au même point ?



3. Spectres électriques

On appelle ligne de champ électrostatique une ligne qui est en chacun de ses points tangente au vecteur champ électrostatique en ce point. Les lignes sont orientées suivant le sens de \vec{E} . On peut visualiser les lignes de champs par des grains de semoule dans une couche d'huile autour d'un corps chargé (<http://www.web-sciences.com/documents/premiere/pedo13/petp1304.php>) sans champ: avec champ:

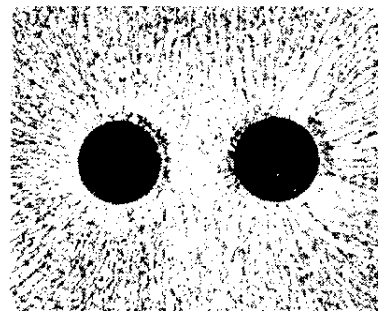
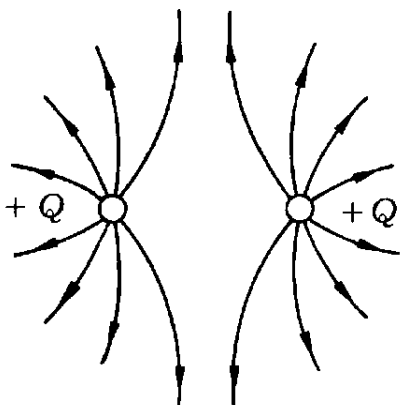
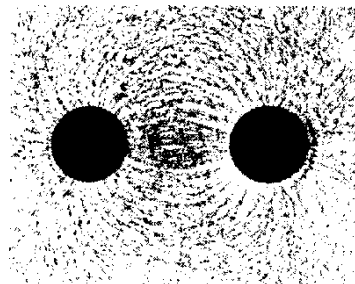
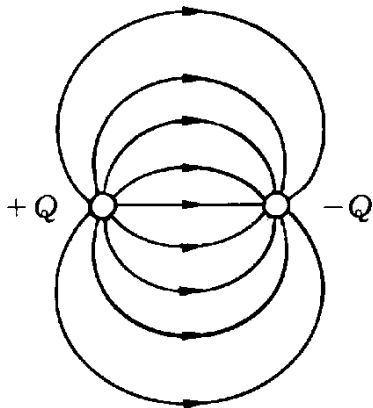
a. Champ électrostatique créé par une charge ponctuelle



Expression vectorielle: $\vec{E} = K \cdot \frac{Q}{r^2} \cdot \vec{u}$

avec \vec{u} = vect. unit. partant du centre de la charge Q

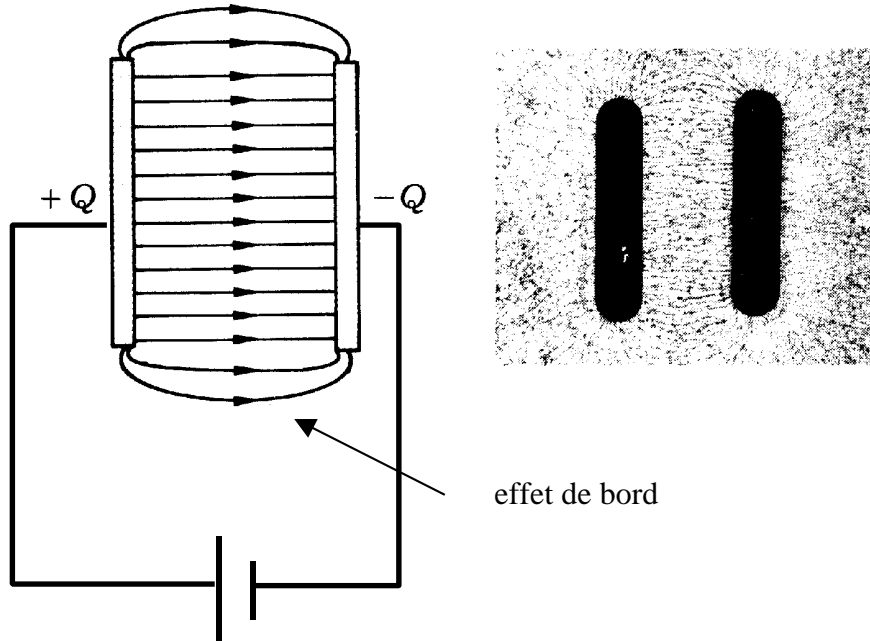
b. Champ électrostatique créé par deux charges ponctuelles



c. Champ électrique uniforme

Définition: On a un champ électrique uniforme dans une région de l'espace si $\vec{E}(M)$ a même norme et orientation pour tout point M de cette région.

Pratiquement on obtient un champ électrique uniforme en appliquant une tension continue entre deux plaques métalliques planes et parallèles (=condensateur plan).

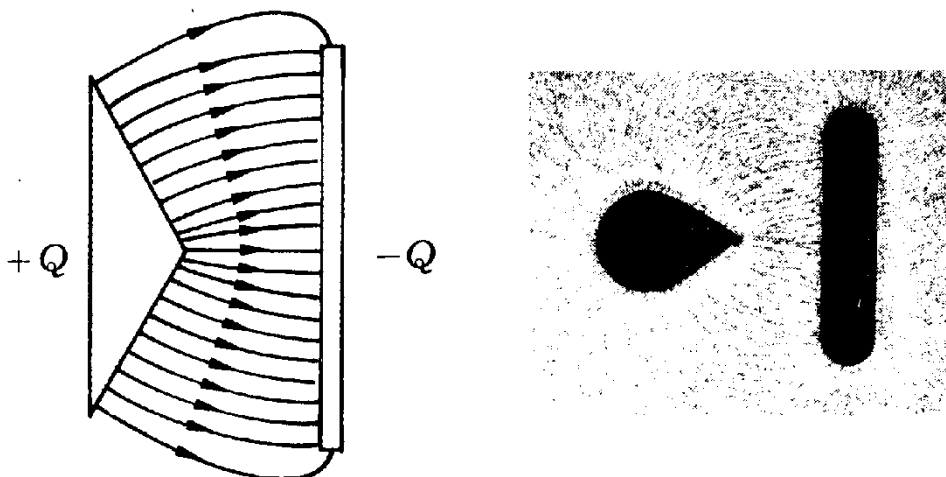


Ex. 6: Une charge test $q=10\text{nC}$ est suspendu à un fil de longueur $l=0,7\text{ m}$ entre les plaques d'un condensateur chargé. La bille de masse $m=2\text{g}$ s'écarte de 1cm par rapport à la verticale.

- a) Représenter la situation et calculer l'intensité du champ E.
- b) Tracer les vecteurs \vec{F} qui s'appliquent à un électron et un ion Cu^{2+} placés dans ce champ

d. Champ électrostatique entre deux électrodes de forme quelconque

Les lignes de champs se resserrent aux pointes, le champ E et la concentration des charges y est plus intense (=effet de pointe). L'étincelle de rupture part toujours d'une pointe (p. ex. éclair). De manière générale, les lignes de champs sont toujours perpendiculaires aux surfaces conductrices.

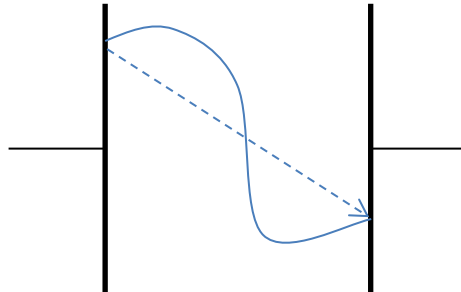


Simulations : <http://www.falstad.com/emstatic/> <http://www.flashphysics.org/electricField.html>

EL2 Potentiel et tension électrique

1. Travail de la force électrostatique dans un champ électrique

a) Charge qui se déplace entre les 2 plaques d'un condensateur plan



La charge test q part de la plaque A et sera attirée vers la plaque B. On veut calculer le travail électrique W_{AB} .

Le champ \vec{E} à l'intérieur du condensateur plan est uniforme et la particule q est donc soumise à une force constante $\vec{F} = q \cdot \vec{E}$.

Le travail électrique libéré lors du passage AB vaut

$$\begin{aligned} W_{AB}(\vec{F}) &= \vec{F} \cdot \overrightarrow{AB} = q \cdot \vec{E} \cdot \overrightarrow{AB} \\ &= q \cdot E \cdot AB \cdot \cos\alpha \\ &= q \cdot E \cdot d \quad (\text{avec } W > 0 \text{ si } q > 0 \text{ se déplace dans le sens de } \vec{E}) \end{aligned}$$

Conclusion: Le travail électrique est proportionnel à q et est indépendant du chemin suivi.

b) Propriété générale du travail électrique

La conclusion obtenue pour le champ uniforme se généralise pour tout champ électrique \vec{E} .

Le travail électrique lors d'un déplacement de A vers B dans un champ \vec{E} quelconque

1. est proportionnel à la charge transportée q
2. dépend du point de départ A et d'arrivée B sans dépendre du chemin suivi

2. Potentiel électrique en un point

La 2^e propriété implique qu'on peut interpréter le travail $W_{AB}(\vec{F})$ de la force électrique comme résultant d'une diminution de l'énergie potentielle électrostatique entre la position A et la position B. (cf. EN3 pour le poids).

$$W_{AB}(\vec{F}) = - \Delta \xi_{\text{pél}} = \xi_{\text{pél}}(A) - \xi_{\text{pél}}(B)$$

Parce que le travail est proportionnel à q est dépend des positions A et B on écrit:

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

On introduit ainsi le **potentiel électrique** $V = \frac{\xi_{\text{pél}}}{q}$ qui exprime l'énergie potentielle électrique par unité de charge en $J/C = V$ (olt) .

Le potentiel électrique a une valeur unique en chaque point du champ électrique mais on doit fixer le potentiel de référence 0. (Comme pour l'énergie potentielle de pesanteur).

Si on déplace une charge q perpendiculairement au champ \vec{E} , la force sera perpendiculaire au déplacement et ne travaille pas. Le déplacement se fait alors sur une **ligne équipotentielle**.

Visualiser dans : <http://www.flashphysics.org/electricField.html>

3. Tension électrique

Si le potentiel électrique aux points A et B vaut respectivement V_A et V_B , la tension U_{AB} désigne la différence de potentiel de A par rapport à B : $U_{AB}=V_A-V_B$

Comme le potentiel, la tension s'exprime également en Volt.

En exprimant le travail électrique on a :

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

On a ainsi $U_{AB} = \frac{W_{AB}(\vec{F})}{q}$ en J/C=V et la tension U_{AB} correspond au travail électrique par unité de charge libéré lors de la circulation d'une charge test q de A vers B.



U_{AB} est représenté par une flèche du niveau de référence B vers A. U_{AB} est positif si la flèche va vers les potentiel croissant i.e. si $V_A > V_B$.

Une tension électrique se mesure à l'aide d'un voltmètre.

La plupart du temps on parle de tension entre deux points d'un circuit, mais des tensions existent aussi dans des cellules vivantes (qq millivolt) ou dans des nuages d'orage (qq MV).

4. Accélération d'une particule chargée dans le vide par une tension entre deux points A et B.

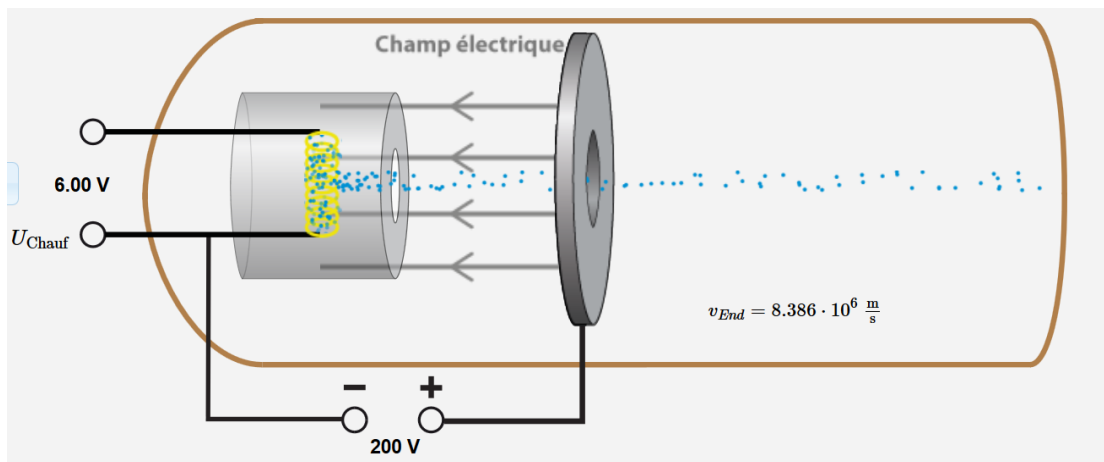
Considérons une particule de masse m et de charge q placée dans un champ électrique quelconque. Elle se trouve en A à la vitesse v_A . On veut calculer sa vitesse en B.

Soit V_A et V_B les potentiels des points A et B. La différence de potentiel s'écrit $U_{AB}=V_A-V_B$.

Conservation de l'énergie totale (méthode 1)	Théorème de l'énergie cinétique (méthode 2)
--	---

Conclusion : Suivant le signe de q et de U on peut accélérer ou décélérer la particule chargée.

Application: Canon à électrons



Exercice : Téléviseur à tube cathodique avec $U = 40\text{kV}$. Calculer la vitesse des électrons issus de la cathode (=pôle négatif) et accéléré vers l'anode en direction de l'écran.

Electronvolt, unité d'énergie

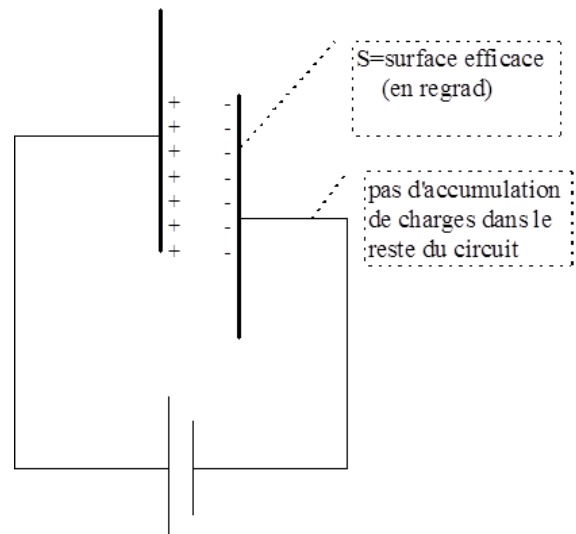
$$1 \text{ eV} = \text{énergie qu'aquiert un électron qui traverse une ddp de } 1\text{V}$$

$$= 1,6 \cdot 10^{-19}\text{C} \cdot 1 \text{ V} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

EL3 Condensateurs

1. Principe du condensateur

Un condensateur est formé de deux surfaces planes en regard séparées par un isolant (=diélectrique) pouvant être le vide (l'air). La force d'attraction électrostatique entre charges de signe opposé permet d'accumuler (condenser) des charges sur les surfaces en regard. Un condensateur ne laisse pas passer de courant entre ces plaques.



Expérience :

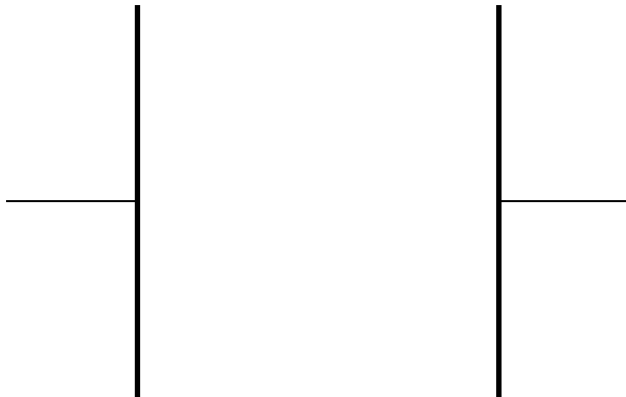
1) Une plaque reliée à un électroscope est chargée.

2) On pose une plaque liée à la terre sur la plaque chargée sans faire de contact (pastilles isolantes). Charges condensées.

3) On enlève la plaque, les charges se répartissent de nouveau.

2. Tension et potentiel dans un condensateur plan

Soit un condensateur plan où règne un champ \vec{E} dirigé de A vers B.



On prend $V_B=0$ (p.ex. relié au - et à la terre) et $V_A>0$ relié à la borne + d'un générateur.
x désigne la distance d'un point M par rapport à la plaque B.
L'axe des x part de B vers A.

Tension : $U_{AB} = \frac{W_{AB}(\vec{F})}{q} = \frac{qEd}{q} = E \cdot d$ où E désigne l'intensité sans signe

Champ électrique : $E = \frac{U_{AB}}{d} = \frac{\text{tension aux bornes du condensateur}}{\text{écart des plaques}}$ en $\frac{N}{C} = \frac{V}{m}$

Potentiel de la plaque A : $V_A = E \cdot d$ (+ $V_B=0$)

Expérience:

U (V)					
d(m)					
E_{exp} (N/C)					
$E_{\text{théo}}=U/d$ (V/m)					

Vectoriellement : Champ uniforme // Ox : \vec{E} orienté vers V décroissant.

3. Charge et décharge d'un condensateur

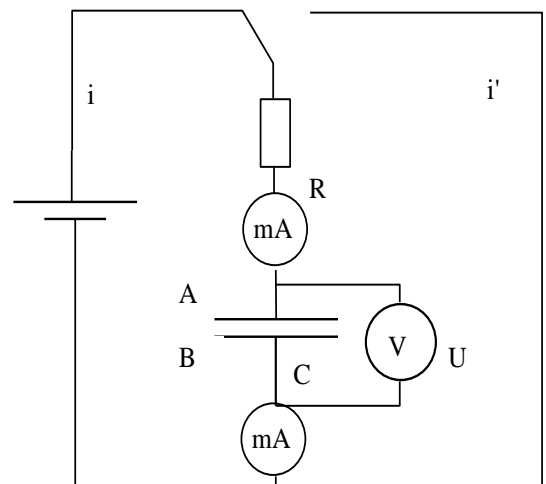
Le circuit avec un interrupteur à deux positions permet de charger et décharger le condensateur.

A. Charge

Les deux mA dévient momentanément de la même amplitude dans le même sens. Ensuite l'aiguille revient à zéro, et il n'y a donc plus de conduction.

Pendant une courte durée un courant de charge d'intensité i circule et transporte une charge Q de B vers A. Pour les électrons on peut dire que N électrons sont extraits de l'armature A ($Q_A=+Q$) et N autres électrons ont apparus en B ($Q_B=-Q$). Pendant la charge, la tension aux bornes du condensateur augmente progressivement jusqu'à ce que $U=U_G$.

charge (1) (2) décharge



B. Décharge

Les deux mA accusent encore un courant de courte durée qui est de sens opposé au courant de charge. La charge Q s'écoule de A vers B donnant lieu à un bref courant de décharge d'intensité i' . La tension aux bornes du condensateur décroît progressivement jusqu'à $U=0$.

Remarques:

- Pendant la charge, C joue le rôle d'un récepteur, pendant la décharge C est un générateur.
- C reste toujours globalement neutre puisque les armatures portent des charges opposées.
- Si on enregistre la tension $u(t)$ et le courant $i(t)$ à l'aide de PASCO pendant les phases de charge et de décharge, on observe l'allure exponentielle des courbes.

3 Capacité d'un condensateur

A. Définition

Expérience 1 : Pour différents condensateurs plans, on étudie la relation entre la tension U aux bornes du condensateur et la charge $Q = |Q_A| = |Q_B|$ accumulé dans le condensateur.

Les mesures montrent qu'à chaque instant $Q \sim U$. Pour un condensateur donné le rapport Q/U est une constante qui caractérise le condensateur.

Définition: On appelle capacité d'un condensateur le rapport

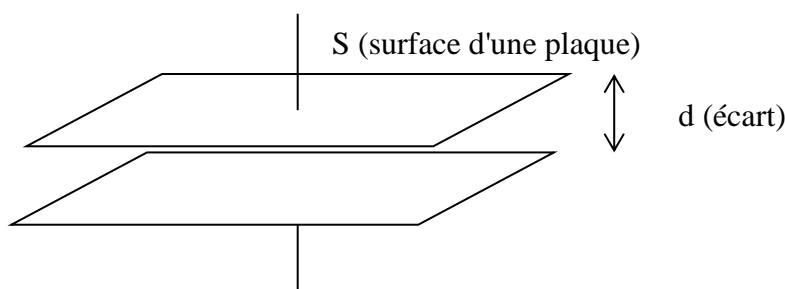
$$C = \frac{Q}{U}$$

Unités: Q en C; U en V; C en C/V=F (Farad)

Exemple : Calculer la charge Q d'un condensateur de capacité $C=100\text{nF}$ chargé sous 45V.

B. Capacité d'un condensateur plan

Expérience 2 (TP): On observe maintenant l'influence de la géométrie d et S sur la capacité C



Dans le cas du condensateur plan on trouve :

$$\left. \begin{array}{l} (1) C \sim S \\ (2) C \sim 1/d \\ (3) C \text{ dépend du diélectrique} \end{array} \right\} \text{d'où la formule } C = \epsilon \cdot \frac{S}{d} \text{ avec } \epsilon = \text{permittivité du diélectrique}$$

Rem : La permittivité diélectrique décrit la réponse d'un isolant à un champ électrique.

Si les plaques sont séparées par le vide (ou l'air) on a $\epsilon = \epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ F/m permittivité du vide. Pour un autre isolant on écrit $\epsilon = \epsilon_r \cdot \epsilon_0$ avec $\epsilon_r =$ permittivité relative du diélectrique (1-5 (solide)).

Expérience 3 (TP): Influence du diélectrique

C. Champ électrique E à l'intérieur d'un condensateur plan chargé

La charge d'un condensateur plan branché sur une tension U vaut:

$$Q = \epsilon \cdot \frac{S}{d} \cdot U \quad \text{puisque } U/d = E \quad \text{on peut écrire}$$

$$E = \frac{Q}{S \cdot \epsilon} = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad \text{avec } \sigma \text{ (sigma) = charge par unité de surface (Q/S)}$$

Le champ électrique E augmente donc avec la charge par unité de surface.

E est plus faible dans un diélectrique parce que le champ est compensé par la polarisation des molécules. Chaque isolant supporte un champ maximal à partir duquel se forme une étincelle.

Champ disruptif: air sec: $E_{\max} = 3 \cdot 10^6 \text{ V/m}$ papier $E_{\max} = 1 \cdot 10^7 \text{ V/m}$

Tableau de mesures

1) Relation entre la tension U et la charge Q: capacité C

a) isolant= air S=0,08 m² d=0,004 m

U (V)	Q (nC)	C=Q/U (nF)	k=C·d/S (F/m)

b) isolant= plastique S=0,08 m² d= m

U (V)	Q (nC)	C=Q/U (nF)	k =C·d/S (F/m)

2) Influence de la géométrie du condensateur sur la capacité du condensateur

a) isolant=air S= 0,08 m² d varie

d (m)	Q (nC)	U (V)	C=Q/U (nF)	C·d	k =C·d/S(F/m)
0,002					
0,003					
0,004					
0,006				*	

* effet de bord

b) isolant=air.....d=0,002 m S varie

S (m ²)	Q (nC)	U (V)	C=Q/U (nF)	C/S	k=C·d/S (F/m)
0,08					
0,0...					
0,04					
0,0...					

3) Effet du diélectrique (matière isolante entre les plaques)

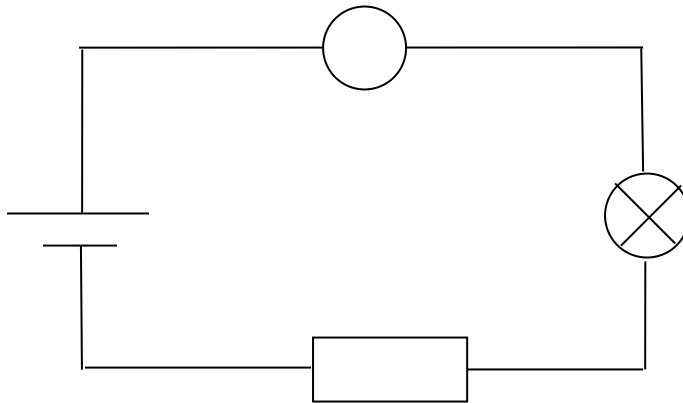
isolant	d (m)	S (m ²)	C _{mat} (nF)	$\epsilon = k \cdot C \cdot d / S$	$\epsilon_r = k / \epsilon_0$

4 Energie stockée dans le condensateur

EL4 Energie et puissance dans un circuit électrique

1. Circuit

Circuit électrique = ensemble de **dipôles** (=composant électrique à deux bornes) qui sont reliés par des fils métalliques pour permettre la circulation des porteurs de charge (le plus souvent des électrons). Le **générateur** fournit l'énergie électrique nécessaire pour propulser les électrons tandis que les **récepteurs** consomment l'énergie électrique en freinant les électrons.



L'ampèremètre branché en série mesure la charge électrique qui le traverse par seconde

$$\text{Intensité du courant } I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{\text{quantité de charge qui circule}}{\text{temps correspondant}} \quad \text{en Ampère (A=C/s)}$$

Le sens conventionnel du courant correspond au sens de déplacement de charges positives (=sens opposés du mouvement des électrons)

Le voltmètre branché en parallèle mesure la différence de potentiel électrique entre deux points

$$\text{Tension } U = \frac{\Delta W}{\Delta Q} = \frac{\text{travail électrique}}{\text{quantité de charge}} \quad \text{en Volt (V=J/C)}$$

En divisant le travail et la charge par le temps t où la charge q circule on a

$$\text{Tension } U = \frac{P}{I} = \frac{\text{puissance électrique}}{\text{intensité de courant}} \quad \text{en Volt (V=W/A)}$$

La polarité d'une tension U est indiquée par une flèche de la borne - vers la borne +.

Exercice: Représenter un circuit avec une batterie et deux lampes a) en **série** et b) en **parallèle**. Représenter les appareils de mesures (avec leur polarité) nécessaires pour déterminer les différentes tensions et intensités. Tracer les flèches pour les I et U mesurés.

LOIS DE KIRCHHOFF :

Additivité des tensions:

tension aux bornes d'une portion de circuit = somme algébrique des tensions partielles.

Loi des nœuds:

somme des courants qui arrivent en un nœud = somme des courants qui partent

suite 2 Travail reçu par dipôle 3 Travail fourni 4 Potentiel le long d'un circuit
5 Transformation d'énergie dans différents dipôles (rendement)

EL5 Dipôles passifs

Un dipôle passif est toujours un récepteur. S'il est branché seul sur un voltmètre on n'observe pas de tension. Pour étudier la relation entre U et I , on branche le dipôle sur un générateur variable.

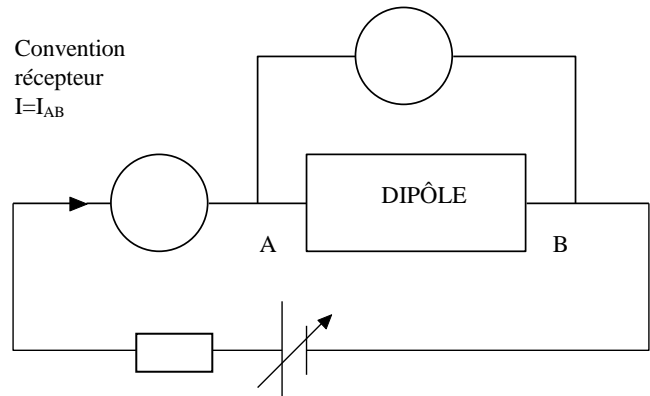
On appelle loi d'Ohm d'un récepteur, l'expression qui donne la tension aux bornes U en fonction du courant I qui rentre dans la borne positive (Convention récepteur).

La courbe représentative de $U=f(I)$ resp. de $I=f(U)$ s'appelle caractéristique du dipôle.

1 Caractéristique de différents dipôles

Expérience : Mesurer (Rappel TP3e) et représenter la caractéristique $U=f(I)$ pour les dipôles suivants:

- a) fil métallique dans un bain d'eau à température constante
- b) même fil dans l'air (effet température)
- c) fil métallique (résistivité)
- d) résistance à couche de carbone
- e) Diode Si (U_{seuil})
- f) Diode LED (U_{seuil})
- g) Diode Zener (U_{seuil} et U_{zener})



Exploitation: Déduire les paramètres typiques pour chaque courbe

2 Conducteur ohmique

La caractéristique du fil métallique refroidi et de la résistance à couche de carbone est une droite passant par l'origine. U et I sont proportionnels. Le rapport U/I est constant. U/I est grand si le courant passe mal.

Définition: La propriété d'un conducteur de "résister" au passage des porteurs de charges est exprimé par la résistance $R = \frac{U}{I}$ en $\frac{V}{A} = \Omega$

Loi d'Ohm pour résistance: Pour certains dipôles, appelés conducteurs ohmiques, la résistance $R=U/I$ est constante. La caractéristique $U=f(I)$ est une fonction linéaire et s'écrit:

$$U = R \cdot I$$

Ex.: fil métallique refroidi, fil de constantan, résistances à couche de carbone

Un montage en série, en parallèle ou mixte de résistances ohmiques R_1, R_2, \dots correspond à une seule résistance équivalente R .

Ex. Etablir les lois d'association de résistances. (Rappel III^e)

Montage en série $R_s = \sum_i R_i$ Montage en parallèle $\frac{1}{R_p} = \sum_i \frac{1}{R_i}$

3 Effet Joule

Dans une résistance électrique les porteurs de charges frappent contre les ions fixes du réseau cristallin. L'énergie électrique est transformée en chaleur.

La puissance dissipée par effet Joule dans une résistance R traversé par un courant I vaut:

$$P = U \cdot I = R \cdot I^2$$

La température du conducteur augmente jusqu'à ce que la chaleur dégagée dans l'environnement compense la chaleur reçue par effet Joule

4 Résistance d'un fil conducteur. Résistivité (Rappel)



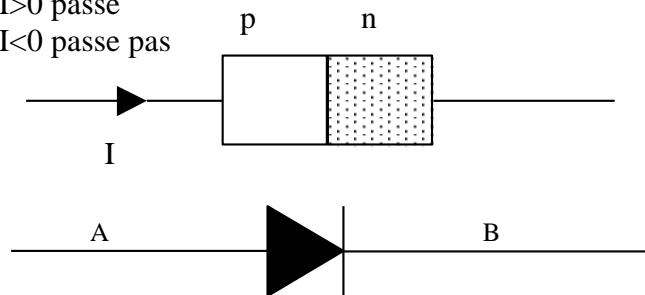
Résistance d'un fil électrique: $R = \rho \cdot \frac{L}{S}$ où ρ désigne la résistivité du matériel

$$\rho = \frac{R \cdot S}{L} \text{ en } \Omega \cdot \text{m} \quad \left(1 \frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}} = 10^{-6} \Omega \cdot \text{m} \right).$$

6 Diode à jonction (cf. TP)

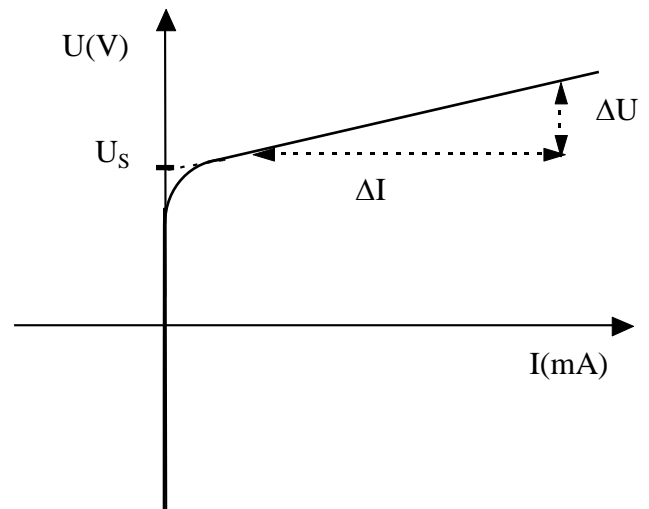
Une diode est un cristal semi-conducteur (Si) dont une moitié (p) est dopé par des atomes qui acceptent des électrons, tandis que l'autre moitié (n) est dopée par des atomes donneurs. La caractéristique de la diode est asymétrique parce que le courant peut traverser la diode à jonction dans le sens pn, mais pas en sens inverse.

$I > 0$ passe
 $I < 0$ passe pas



On peut idéaliser la caractéristique $U=f(I)$ de la diode par deux segments de droite:

- droite verticale $I=0$ pour $U < U_s$ tension seuil
- fonction affine: $U=U_s + r \cdot I$ pour $I > 0$
où $r = \frac{\Delta U}{\Delta I}$ est la résistance dynamique



Rem : Si une diode normale ne conduit pas en sens inverse, la diode Zener commence à laisser passer un courant négatif à partir d'une tension Zener.

EL6 Dipôles actifs

1 Caractéristique d'un générateur

On appelle loi d'Ohm d'un générateur, l'expression qui donne la tension aux bornes U en fonction du courant I qui est **débité** par la borne positive (Convention générateur).

On peut idéaliser la courbe $U=f(I)$ par une fonction affine décroissante: $U=a \cdot I+b$ ($a<0$).

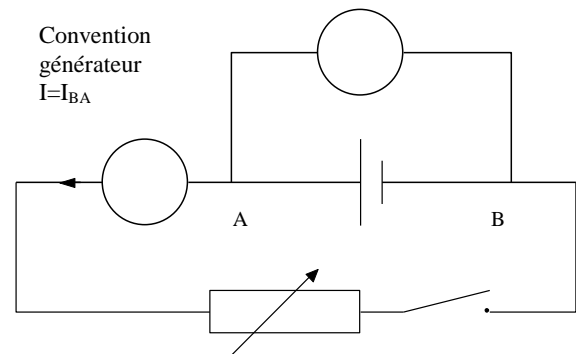
Une batterie réelle est formée par:

- un générateur qui produit une tension constante E , appelée force électromotrice
- une résistance interne r correspondant à la conduction dans la batterie (électrolyte, contacts, ...)

Si on relie une batterie à une résistance extérieure R , la résistance équivalente du montage en série est $r+R$. Ce qui permet de calculer l'intensité I du courant débité:

$$I = \frac{E}{r + R}$$

Schéma :

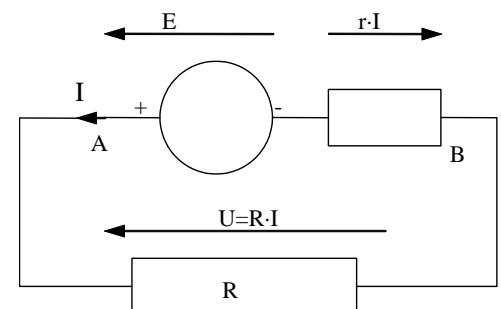


La tension disponible U aux bornes de la batterie (all. *Klemmenspannung*) s'écrit:

$$U = E - r \cdot I \quad (\text{loi d'Ohm généralisée pour générateur, convention générateur})$$

où E est la force électromotrice du générateur en Volt!! ($E \neq$ champ électrique)

r désigne la résistance interne



Pratiquement on mesure:

- fém E = tension à vide U_0 lorsque la batterie ne débite aucun courant (all. *Quellenspannung*)
- résistance interne $r = \frac{\text{chute de tension } \Delta U}{\text{augmentation de courant } \Delta I}$

Bilan énergétique:

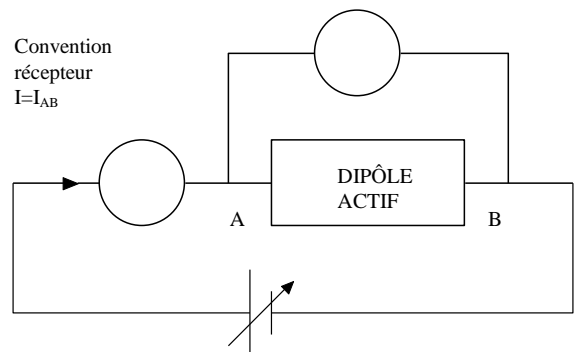
$P = U \cdot I$	=	$E \cdot I$	-	$r \cdot I^2$
puissance fournie au circuit extérieur		puissance produite par la batterie		puissance dissipée dans la résistance interne

Rendement du générateur : $\eta = \frac{P \text{ utile fournie au circuit}}{P \text{ générée}} = \frac{U \cdot I}{E \cdot I} = \frac{U}{E}$ diminue avec I

2 Caractéristique d'un récepteur électromoteur (=qui libère de l'énergie chimique, mécanique (et non seulement thermique))

Expérience : Relever (TP 2^e) la caractéristique $U=f(I)$ d'un accumulateur qu'on charge et d'un moteur électrique (qui tourne à vitesse constante). On utilise le même montage que pour les dipôles passifs.

On peut idéaliser la courbe par une fonction affine croissante.



Un récepteur électromoteur/électrolyseur/accumulateur réel est constitué :

- un convertisseur d'énergie qui consomme une tension constante E' , appelée force contre-électromotrice
- une résistance interne r correspondant à la conduction interne

<p>La tension aux bornes du dipôle actif récepteur s'écrit:</p> $U = E' + r \cdot I$ <p>(loi d'Ohm généralisé pour récepteur, convention récepteur) où E' est la force contre-électromotrice (fcém) du dipôle en Volt!! r désigne sa résistance interne.</p>	<p>Schéma :</p>
--	-----------------

Rem: Pour le moteur électrique, la force contre-électromotrice est proportionnelle à la vitesse de rotation. Pour avoir E' constant, il faut garder la fréquence de rotation constante.

Bilan énergétique:

$$P = U \cdot I = E' \cdot I + r \cdot I^2$$

puissance électrique reçue	puissance transformée en une forme d'énergie utile (méc., chim...)	puissance dissipée sous forme thermique dans la résistance interne
----------------------------	--	--

Rendement du récepteur : $\eta = \frac{P_{\text{utile transformée}}}{P_{\text{électr. reçue}}} = \frac{E' \cdot I}{U \cdot I} = \frac{E'}{U}$ diminue avec I

On note bien la différence entre

- convention récepteur:
 $I = I_{AB}$ rentre par la borne positive A,
les flèches pour I et U ont sens opposés.
 $P = U \cdot I =$ puissance électrique reçue.



- convention générateur:
 $I = I_{BA}$ sort de la borne positive A,
les flèches pour I et U ont même sens.
 $P = U \cdot I =$ puissance électrique fournie.



3 Association en série de dipôles linéaires (loi de Pouillet)

$$I = \frac{\sum E_{\text{gén}} - \sum E'_{\text{récept.}}}{\sum R_{\text{int\&ext}}} \quad \text{démonstration à faire sur un exemple}$$