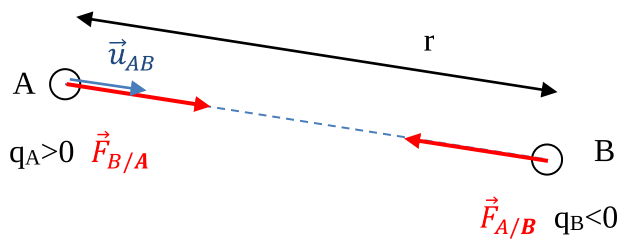
ELECTRICITE

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 $\begin{cases} \text{répulsive pour 2 charges de même signe } q_A \cdot q_B > 0 \\ \text{attractive pour 2 charges de signes opposés } q_A \cdot q_B < 0 \end{cases}$

Loi de Coulomb:

En norme: $F = \dfrac{1}{4\pi \cdot \varepsilon_0} \cdot \dfrac{|q_A \cdot q_B|}{r^2} = F_{A/B} = F_{B/A}$

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

Permittivité du vide: $\varepsilon_0 = 8{,}854 \cdot 10^{-12}\ \dfrac{C^2}{N \cdot m^2}$ (constante physique)

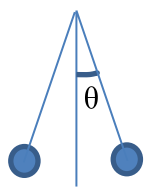
$k = \dfrac{1}{4\pi \cdot \varepsilon_0} = 9 \cdot 10^9\ \dfrac{N \cdot m^2}{C^2}$ (plus facile à retenir)

Vectoriellement: $\vec{F}_{A/B} = \dfrac{1}{4\pi \cdot \varepsilon_0} \cdot \dfrac{q_A \cdot q_B}{r^2} \cdot \vec{u}_{AB} = -\vec{F}_{B/A}$ avec $\vec{u}_{A/B} = \dfrac{\overrightarrow{AB}}{\|AB\|}$ 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=8 g 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 θ=10° trouver la charge Q. Est-ce qu'on peut déduire le signe de la charge?



Indication : Appliquer la trigonométrie pour une charge (calculs à faire !)

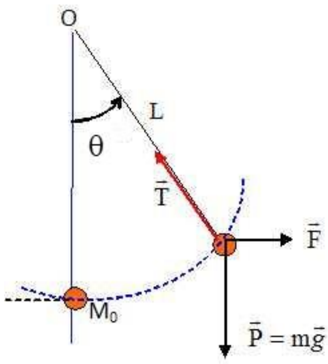
(1) $\tan\theta = \dfrac{F}{mg} \Leftrightarrow F = \tan\theta \cdot mg =$

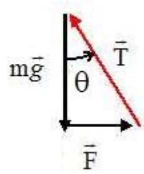
(2) r=2·L·sin θ= à remplacer dans $F = k \cdot \dfrac{Q^2}{r^2}$

donne : $Q^2=$

Q = =*64,6 nC*

Cet écart augmente avec la charge. On aura une répulsion pour ++ et -- quelque soit le signe de Q tout comme pour l'électroscope.

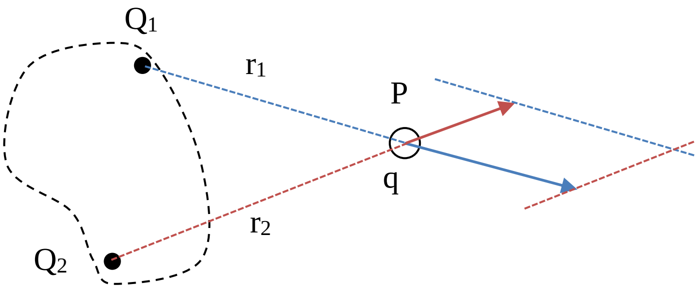




2. Vecteur champ électrostatique

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.

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



Construire la somme vectorielle et ajouter le nom des 3 vecteurs.

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. Si on associe un vecteur à chaque point on parle d'un 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:

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

Rem: 1) $\vec{E}$ dépend des charges $\{Q_1, Q_2,...\}$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**.

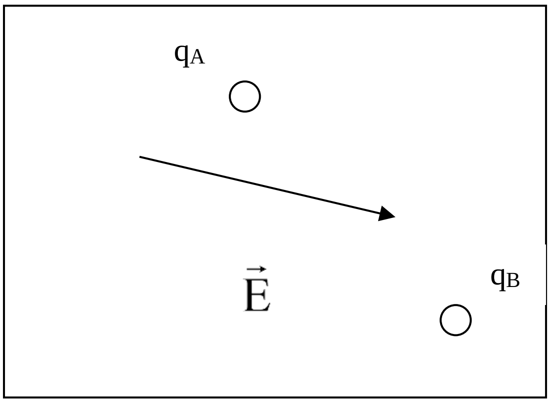
3) pour $\vec{E}$ donné, la force électrostatique qui s'applique sur une charge q s'écrit:

$$\vec{F} = q\cdot\vec{E}$$

F est proportionnel à q 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 10kV/m=>1cm.
On place dans ce champ deux charges q_A et q_B.
a) Calculer est représenter la force qui s'exerce sur q_A=2pC et q_B=-4pC. Indiquer une échelle convenable pour les forces.
b) Noter qu'on peut négliger l'interaction entre q_A et q_B.



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

5) Une charge ponctuelle q_1 =3,2 nC est soumise à une force électrique avec $F_x = 8\cdot10^{-6}$ 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 nC située au même point ?

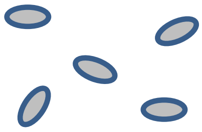
Jeu : [Hockey électrostatique avec le champ résultant agissant sur une charge test= Puck].

3. Spectres électriques

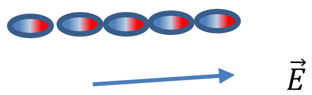
On appelle ligne de champ électrostatique une ligne qui est en chaque point tangente au vecteur champ électrostatique en ce point. Les lignes sont orientées suivant le sens de $\vec{E}$.

On peut visualiser les lignes de champs par des grains de semoule dans une couche d'huile autour d'un corps chargé (1charge 2 charges opposées 1 sphère 3D 2 plaques effet pointe)

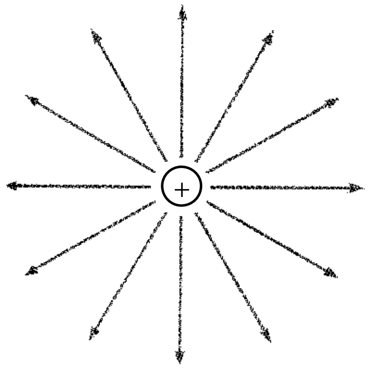
Sans champ *les grains se distribuent au hasard.*

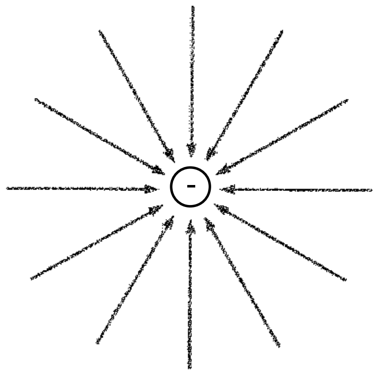


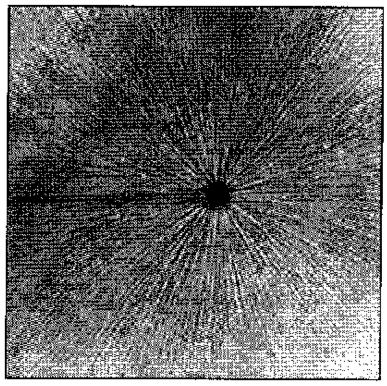
Avec champ *les grains polarisés (- +) forment des lignes car les + et – s'accrochent*



a. Champ électrostatique crée par une charge ponctuelle

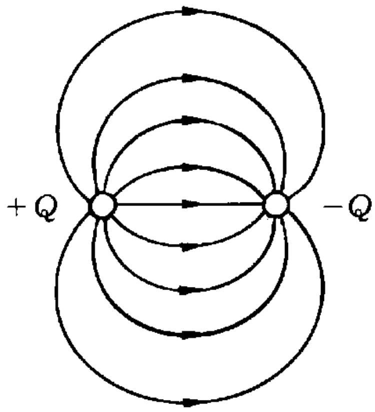


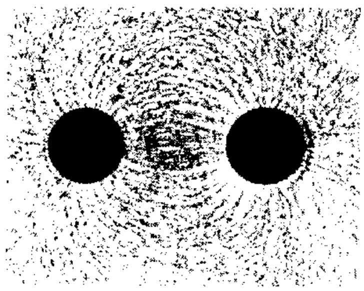


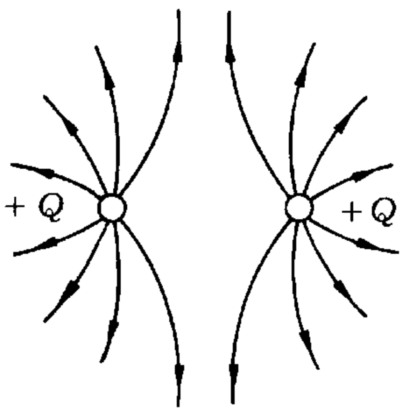


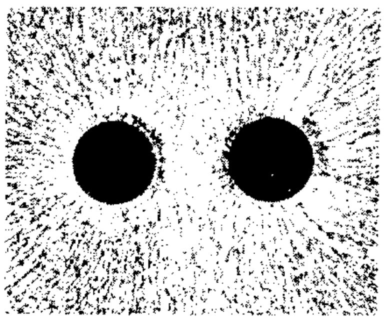
Expression vectorielle: $\vec{E} = K \cdot \frac{Q}{r^2} \cdot \vec{u}$ avec $\vec{u}$ = vect. unit. partant du centre de la charge Q

b. Champ électrostatique créé par deux charges ponctuelles





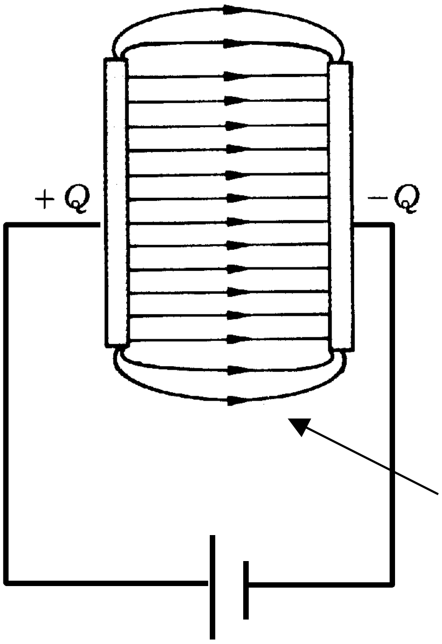


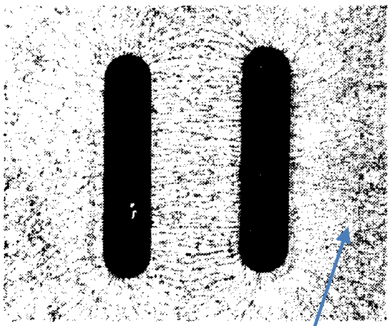


c. Champ électrique uniforme

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).



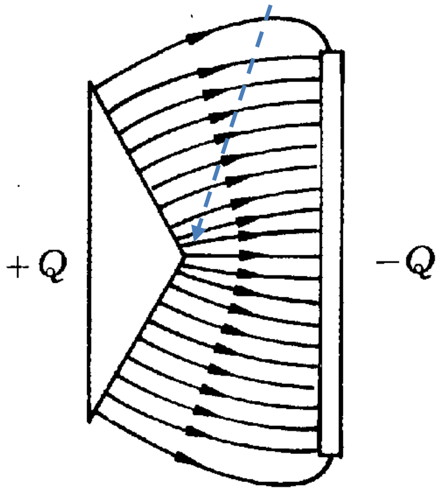


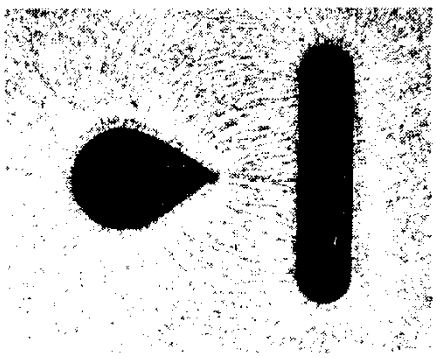
effet de bord

mais sinon pas de champ à l'extérieur

d. Champ électrostatique entre deux électrodes de forme quelconque

Les lignes de champs se resserrent aux pointes, le champ $\vec{E}$ 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.





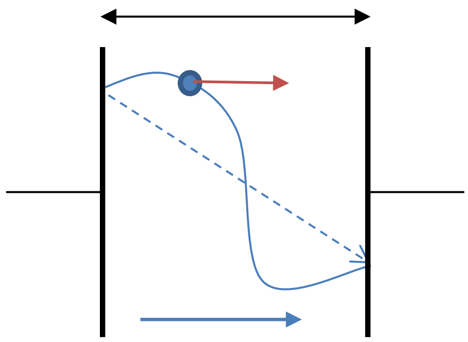
Film : Champ électrique (2^e) et analogie avec champ de gravitation (1^re)
Films : Spectacular experiences to visualize invisible electric field part 1 et part 2
Simulations : http://www.falstad.com/emstatic/

*Rem : Les **lignes équipotentielles** prévue dans les applets cf. page 5.*

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} selon un chemin quelconque.

Annoter la figure : A,B,q,$\vec{F}$, $\vec{E}$, d, signe des 2 plaques

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

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

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 (utilité théorique)

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).

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

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** $V = \dfrac{\xi_{pél}}{q}$ 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** qui est en tout point perpendicualire au champ électrique. Le potentiel en Volt y reste constant. Visualiser dans : https://phet.colorado.edu/sims/html/charges-and-fields/latest/charges-and-fields_fr.html

3. Tension électrique (utilité pratique)

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 :

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

Définition : 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 : $\mathbf{U_{AB}} = \frac{W_{AB}(\vec{F})}{q}$ **en J/C=V**

A (+) $U_{AB}>0$ B (-)

$* \longleftarrow *$

U_{AB} *(tension de A par rapport à B)* 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 (qqs millivolt) ou dans des nuages d'orage (qqs 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 $\vec{E}$. Elle se trouve initialement en A à la vitesse v_A et sera accéléré par $\vec{F} = q \cdot \vec{E}$ vers un point B.
Si on connait la différence de potentiel $U_{AB}=V_A-V_B$ entre les points A et B. On peut calculer la vitesse de sortie v_B à l'aide du théorème de l'énergie cinétique.

$$\frac{1}{2}\, m v_B^2 - \frac{1}{2}\, m v_A^2 = W(\vec{F}) = q \cdot U_{AB}$$

$$\frac{1}{2}\, m v_B^2 = q \cdot U_{AB} + \frac{1}{2}\, m v_A^2$$

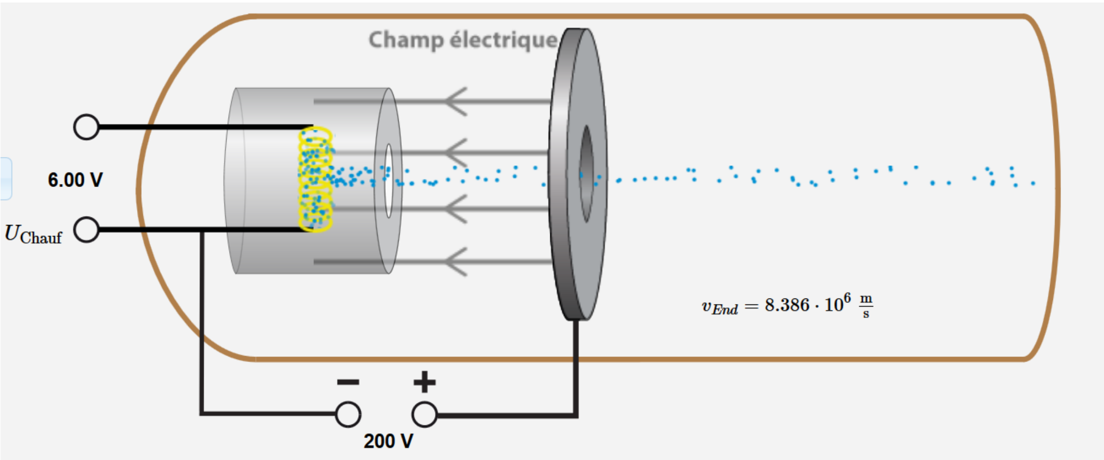
$$v_B^2 = \frac{2 \cdot q \cdot U_{AB} + m v_A^2}{m}$$

$$v_B = \sqrt{\frac{2 \cdot q \cdot U_{AB}}{m} + v_A^2}$$

Rem : 1) Suivant le signe de q·U ont peut accélérer ou décélérer la particule chargée
2) Souvent v_A =0 et la vitesse après accélération se calcule en valeur absolue

$$v_{fin} = \sqrt{\frac{2 \cdot |q \cdot U|}{m}}$$

Exercice 1: Canon à électrons (Simulation)
Des électrons sont émis par un filament incandescant avec une vitesse néglegeable. Comme une tension acclératrice s'applique entre le filament négatif et une plaque positive, les électrons sont attiré et accéléré vers la plaque. Au centre de la plaque un trou permet aux électrons de continuer sur une trajectoire rectiligne à vitesse v élevée sous forme d'un faisceau d'électrons.
a) Déterminer la vitesse des électrons pour U=200V
b) Calculer la tension accélératrice U pour atteindre v=3·10^{7}m/s.
c) Contrôler les calculs avec la simulation. *Si v>10% de la vitesse de la lumière, le calcul classique* $E_{cin} = \frac{1}{2}\,mv^2$ *doit être remplacé par les lois relativistes d'Einstein (cf. Terminale)*



Application : Ancien téleviseur à tube cathodique

Electronvolt, unité d'énergie

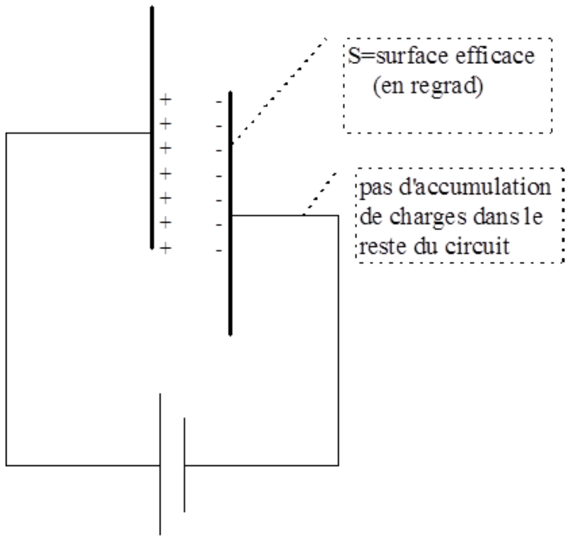
1 eV = énergie qu'aquiert un électron qui traverse une ddp de 1V
= 1,6·10^{-19}C · 1 V = 1,6·10^{-19} J

Exercice 2: Calculer l'énergie cinétique (en eV) et la vitesse acquise par différentes particules qui sont accélérés du repos par une tension de 1000V.

1 électron	q=-e	Ecin= 1000 eV = 1keV	v=
1 proton	q=e	Ecin= 1000 eV = 1keV	v=
1 particule α (noyau He m= 4u)	q=2e	Ecin=2000 eV = 2keV	v= 439 100 m/s
1 ion ${}^{40}_{20}Ca^{2+}$ (m=40u)	q=2e	Ecin=	v=

1u = unité de masse atomique = 1,66·10^{-27} kg

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 (en classe):

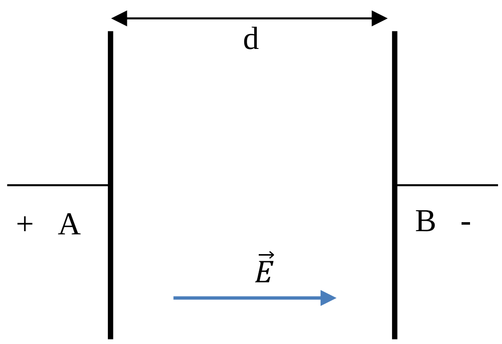
1) Une plaque reliée à un électroscope est chargée.

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 U et champ E dans un condensateur plan

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



On applique une tension positive $U=U_{AB}$ entre les plaques d'un condensateur.
p.ex : Potentiel $V_B=0$ (relié au – et à la terre) et $V_A>0$ relié à la borne + d'un générateur.

$\vec{E}$ uniforme entre les plaques de + vers –
Intensité $E=\|\vec{E}\|$ = constante positive

Tension : $U_{AB}= \frac{W_{AB}(\vec{F})}{q} = \frac{F\cdot d}{q} = \frac{qE\cdot d}{q} = E\cdot d$ (cf. EL2 1) Travail électrique …)

Noter qu'une charge test q qui passe de A vers B traverse le circuit externe et non pas l'isolant.

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

Expérience (en classe) :

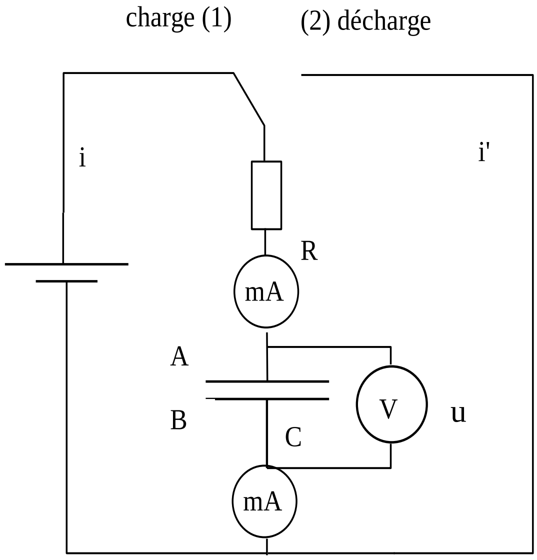
U (V)					
d(m)					
E_{exp} (N/C)					
$E_{théo}$=U/d (V/m)					

Animation : [Cartographie du champ uniforme et lignes équipotentielles]

3. Charge et décharge d'un condensateur

Expérience **en classe** :

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



A. Charge

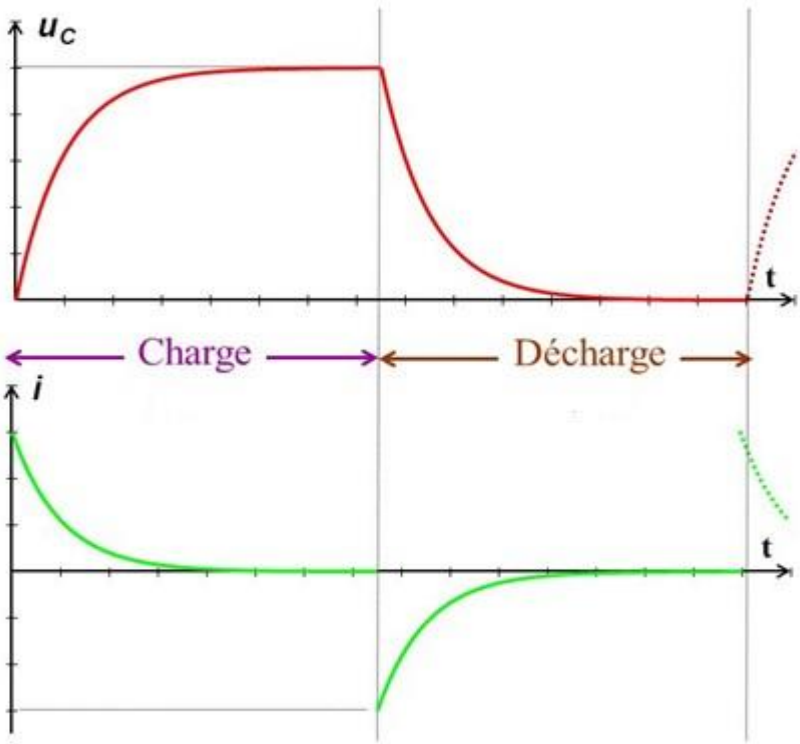
Les deux mA dévient momentanément de la même amplitude dans le même sens. Ensuite l'aiguille revient à zéro, et il n'y a donc plus de conduction.
Pendant une courte durée un courant de charge d'intensité i circule et transporte une charge Q de B vers A. Pour les électrons on peut dire que N électrons sont extraits de l'armature A (Q_A=+Q) et N autre électrons ont apparu en B (Q_B=-Q). Pendant la charge, la tension aux bornes du condensateur augmente progressivement jusqu'à ce que u =U_G.
Rem : i et u en minuscule pour indiquer qu'elles varient avec le temps.

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. Indiquer la tension maximale U_G=5V et le courant maximal $I_m = \frac{U_G}{R}$ = 3mA.



cf. aussi simulation p.10 et [applet construction kit AC] avec fichier sur physik.diekirch.org.

3 Capacité d'un condensateur

A. Définition

Expérience 1 (en classe) : 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~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

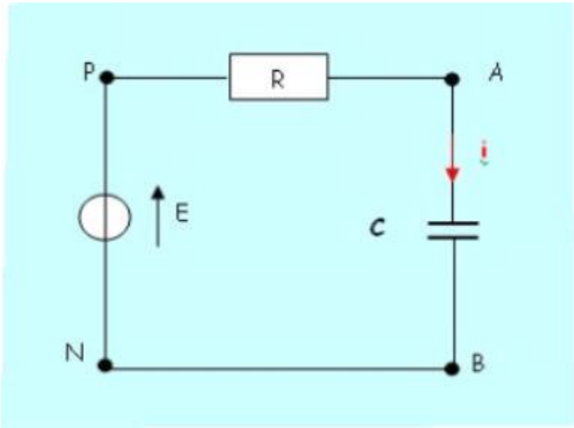
$$C=\frac{Q}{U}$$

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

Exemple : Calculer la charge Q d'un condensateur de capacité C=100nF chargé sous U=45V.

Exercice QCM :
Bien regarder les conventions du montage.
La charge de C se fait par un générateur de tension U_G= E.

Noter que ici E désigne la force électromotrice (fém) du générateur en Volt (cf. EL6) à ne pas confondre avec le champ électrique en V/m !!



Simulation : Pour observer la tension u, le courant i et la charge q pendant le charge d'un condensateur à travers une résistance.

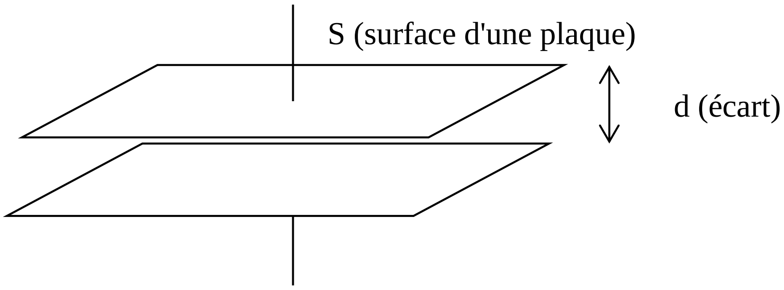
Utiliser la simulation pour lire la tension U=E (fém) et la charge finale Q :

U(V)	Q (mC)	Q/U (C/V=F)	C (µF)

B. Capacité d'un condensateur plan

Film : Condensateur=Capacitor https://www.youtube.com/watch?v=f_MZNsEqyQw
Cette animation explique comment les charges se déplacent lors de la charge et décharge du condensateur. On comprend l'effet de stockage d'énergie et l'augmentation du potentiel.
Un petit inconvénient résulte du fait qu'on suit le mouvement réel des électrons négatifs.
Le potentiel qui monte pour les électrons « condensés » est en fait négatif (on le signale aussi brièvement dans le film).

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



Dans le cas du condensateur plan on trouve :

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

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 $\varepsilon=\varepsilon_0=8{,}85\cdot10^{-12}$ F/m permittivité du vide.
Pour un autre isolant on écrit $\varepsilon=\varepsilon_r\cdot\varepsilon_0$ avec ε_r=permittivité relative du diélectrique (1-5 (solide)).

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

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

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

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

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: $E_{max}=3\cdot10^6$V/m papier $E_{max} = 1\cdot10^7$ V/m

D. Simulation pour remplacer le TP :

https://phet.colorado.edu/sims/html/capacitor-lab-basics/latest/capacitor-lab-basics_fr.html

Tableau de mesures

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

Régler les paramètres pour S et d. Varier U et calculer C. Contrôler si C affiché est correct.
isolant= air S=400 mm^2 = 0,0004 m^2 d= 4mm = 0,004 m U varie

U (V)	Q (pC)	C=Q/U (pF)	k=C·d/S (F/m)
0,5			
1,0			
1,5			
-1,0			

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

Prendre U=1V et d fixe et calculer C=Q/U ou prendre l'affichage. Est-ce que C change si on prend U=1,5V (pour S=0,0004m^2) ?
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)
0,0004		1			
0,0004		1,5			
0,0003.		1			
0,0002		1			
0,0001		1			

3) Influence de l'écart d des plaques sur la capacité du condensateur

Prendre U=1,5V fixe et calculer C=Q/U ou prendre l'affichage. Est-ce que C change si on prend U=1V (pour d=2mm) ?
isolant=air S= 0,0004 m^2 d varie

d (m)	Q (pC)	U (V)	C=Q/U (pF)	C·d	k =C·d/S(F/m)
0,002		1,5			
0,002		*1,0*			
0,003		1,5			
0,004		1,5			
0,006		1,5			
0,010		1,5			

Conclusion : C dépend des caractériatiques du condensateur et pas de U. C proportionnel à S. C est inverséement proportionnel à d. La constante de proportionalité k donne la permittivité du vide ε_0 pour l'air (ou le vide).
En TP on peut mesurer l'effet de différents diélectriques pour trouver $\varepsilon=\varepsilon_r\cdot\varepsilon_0$ et tester C en série et parallèle … **OU** simulation Java pour condensateur avec diélectrique et plusieurs condensateurs en série $\frac{1}{C_{tot}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$ ou EN parallèle $C_{tot}= C_1+C_2$.
(Formules analogues mais échangées par rapport aux résistances en série ou en parallèle).

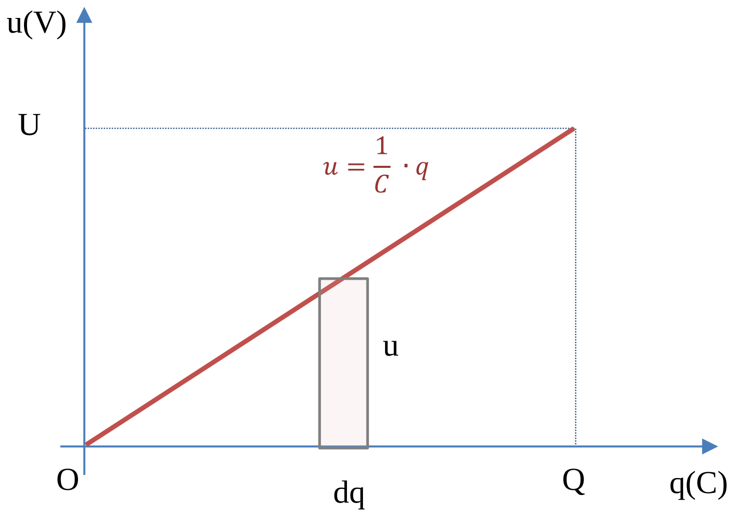
4 Energie stockée dans le condensateur

L'applet précédent dans le mode « ampoule » permet de comprendre que le condensateur emmagasine de l'énergie lorsqu'il est chargé et la restitue s'il se décharge à travers une ampoule ou un moteur.

Le raisonnement pour calculer l'énergie emmagasinée est comparable à celui appliqué pour le calcul de l'énergie d'un ressort.

En effet au fur et à mesure que la charge q d'un condensateur augmente, la tension à vaincre pour lui donner une charge supplémentaire dq augmente selon u=q/C.

Cette situation peut être représenté par une fonction linéaire $u = \frac{1}{C} \cdot q$



Le travail électrique élémentaire à fournir pour augmenter la charge de q vers q+dq vaut dW= dq·u ce qui équivaut sur la figure à l'aire du rectangle indiqué

L'énergie totale emmagasinée si la tension atteint U et la charge Q=C·U correspond à la somme des travaux dW successifs ce qui équivaut à l'aire du triangle en dessous de u=f(q)

$$E_{cond} = \sum dW \ = \text{Aire du triangle (base Q = C} \cdot \text{U; hauteur U)} = \frac{1}{2}\text{C} \cdot \text{U}^2$$
$$= Aire\ du\ triangle\ (base\ Q\ ;\ hauteur\ U = \frac{Q}{C}) \ = \frac{1}{2} \cdot \frac{Q^2}{C}$$

Expression pour l'énergie emmagasinée dans un condensateur :

$$\boldsymbol{E_{cond} = \frac{1}{2}\mathrm{C} \cdot \mathrm{U}^2} \ = \frac{1}{2} \ \frac{Q^2}{C} \ = \frac{1}{2} \ Q \cdot U$$ avec U en V ; Q en C et E en J.

Exercice : *On veut stocker une énergie de 0,5J en chargeant un condensateur sous U=300V.*
a) Quelle est la capacité C nécessaire ?
b) Indiquer la charge Q du condensateur.
c) Si on veut réaliser ce condensateur avec des plaques planes séparés par un film de Mylar (polyester) d'épaisseur d=0,1mm et de permittivité relative ε_r=2,8. Quelle est la surface des plaques nécessaires ?
Rem : Pour gagner de la place en enroule des feuilles d'aluminium et de Mylar.