Université Mohamed Boudiaf – M'sila

Annexe de Médecine

Première Année Médecine

Physique-biophysique

Chapitre 1 : Electricité et phénomènes bioélectriques

- **Electrostatique** ✓
- Electrocinétique
- Bioélectricité membranaire et cellulaire

Pr H'mida Latelli

Département de physique

Laboratoire de Physique et Chimie des Matériaux

Equipe: Modélisation et Simulation des Matériaux

Programme de biophysique

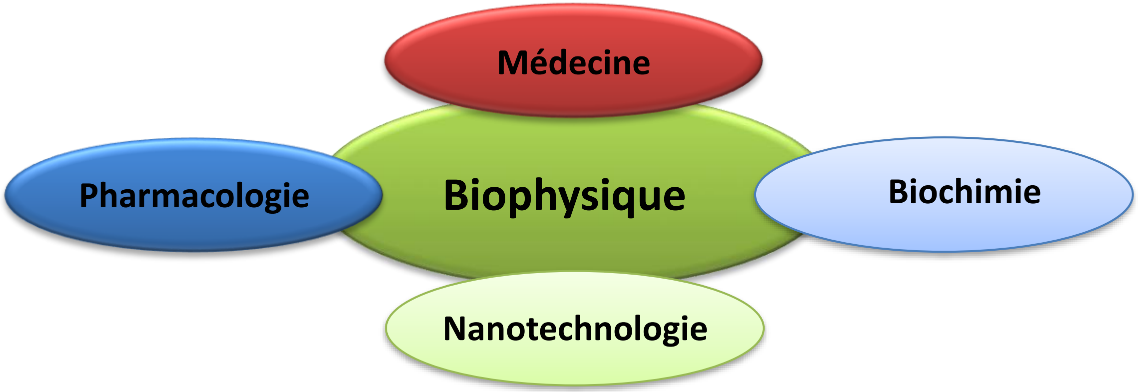
- ❑ **Electricité et phénomènes bioélectriques (**H. Latelli**), S1**
- ❑ Biophysique des solutions et applications médicales (O. Meglali), **S1**
- ❑ Optique géométrique – l'œil (B. Assaous), **S2**
- ❑ Biophysique des rayonnements (N. Baadji), **S2**

Electrostatique
Electrocinétique
Bioélectricité membranaire et cellulaire

Introduction

La **biophysique** est une discipline à l'interface de la physique et la biologie. La biophysique tente d'expliquer le milieu vivant en utilisant les outils de la physique.

La **biophysique** est une science interdisciplinaire :



Pour le traitement et pour le suivi du malade par de nombreux appareils de haute technologie qui repose sur des principes physiques, un bon médecin doit avoir un bagage solide en sciences fondamentales, en général, et en biophysique médicale en particulier.

Objectifs

- Connaitre les bases physiques et biophysiques utiles à la compréhension des échanges et au maintien des équilibres au sein de l'organisme,
- Comprendre les processus physiques à la base des différentes méthodes d'imagerie et exploration fonctionnelle,
- Acquérir les bases physiques du fonctionnement du microscope optique.

Electrostatique, électrocinétique et bioélectricité

Electrostatique :

L'électrostatique est la branche de la physique qui étudie les phénomènes créés par des charges électriques immobiles (statiques) pour l'observateur.

1. Phénomènes d'électrisation
2. La charge électrique
3. Rappel mathématique (vecteurs)
4. La force électrique (force de Coulomb)
5 . Champ électrique (E)
6. Potentiel électrique (V)
7. Energie potentiel électrique
8. Caractéristiques importantes entre E et V
9. Dipôles électriques

Electrocinétique :

L'électrocinétique est l'étude du mouvement de l'ensemble des charges dans un circuit que l'on appelle courant électrique. Les charges se déplacent sous l'effet d'un champ électrique extérieur créé par une différence de potentiel.

1. Rupture d'un équilibre électrostatique
2. Obtention d'un courant permanent
3. Sens conventionnel du courant
4. Intensité du courant
5. Vecteur densité de courant
6. Loi d'Ohm microscopique
7. Loi d'Ohm macroscopique
8. Loi de Joule
9. Les réseaux électriques.

Bioélectricité :

La **bioélectricité** qualifie une électricité produite par des êtres vivants. Elle est un secteur particulier de l'électricité lié aux effets des organismes vivants. Les éléments principaux sont le cerveau est les neurones.

1. Transport des particules chargées
2. Canaux ioniques
3. Conductivité
4. Modèle électrique d'une membrane
5. Introduction à la propagation de l'influx nerveux
6. Activité électrique du cœur
7. Potentiels provoqués ou évoqués

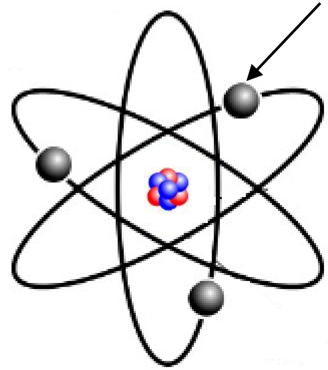
Electricité et phénomènes bioélectriques

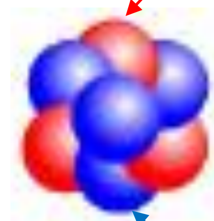
Partie 1 : Electrostatique

https://elearning.univ-msila.dz/moodle/

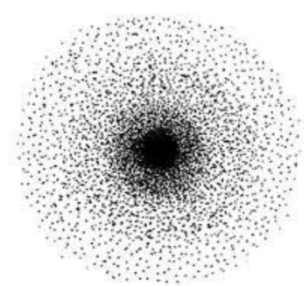
0. La matière

À l'échelle microscopique, la matière est formée d'un ensemble d'atomes ou de molécules reliées entre elles par des forces d'interactions de VAN DER WALLS.

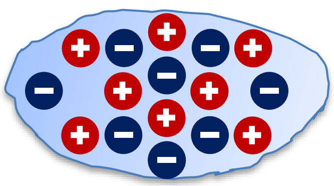




Matière (4 cm) | **Molécule (0.4 nm)** | **Atome (0.1 nm)** | **Noyau (1 fm)**

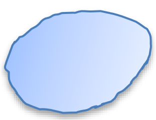


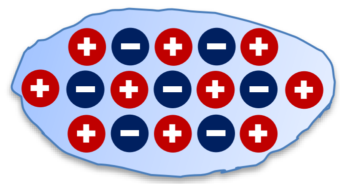
La matière



$$(+8) + (-8) = 0$$

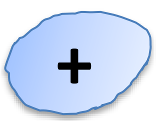
Neutre

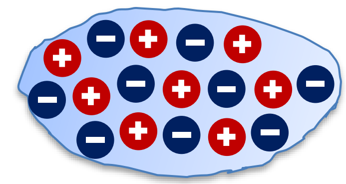




$$(+10) + (-7) = +3$$

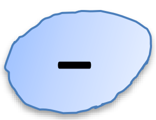
Chargé positivement





$$(+8) + (-9) = -1$$

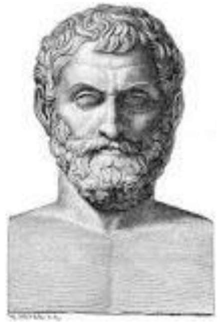
Chargé négativement



1. Electrostatique

1. Phénomènes d’électrisation

Ce sont les grecs qui découvrirent les premiers phénomènes d’électrisation.

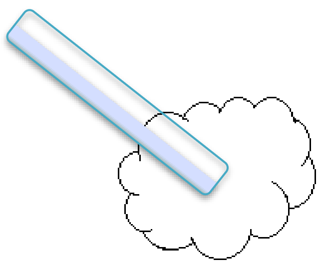


Thalès de Milet
(625−547 av. J.C)

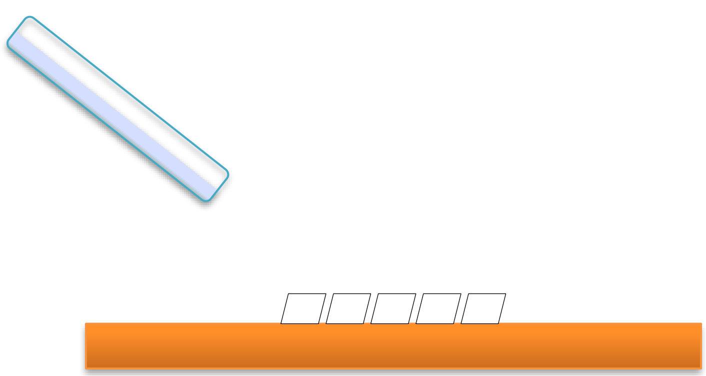
Thalès de Milet observa que de l’ambre frottée par de la laine attirait des brins de paille.

Expérience :

On frotte un morceau de verre avec de la laine.



Si on approche le verre frotté à de petits morceaux de papier :



Les morceaux de papier sont alors attirés par le verre.

Expérience réelle n° 1 : Frottez une "paille" en plastique avec un mouchoir en papier. Approchez cette paille électrisée à de petits morceaux de papiers ou d'aluminium posés sur une table isolante. Ils sont attirés et restent comme collés dessus.

Vidéo

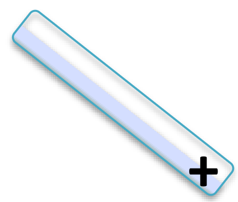
Expérience réelle n° 2 : Frottez une "paille" en plastique avec un mouchoir en papier. Approchez-la d'un filet d'eau : il est puissamment dévié.

Vidéo

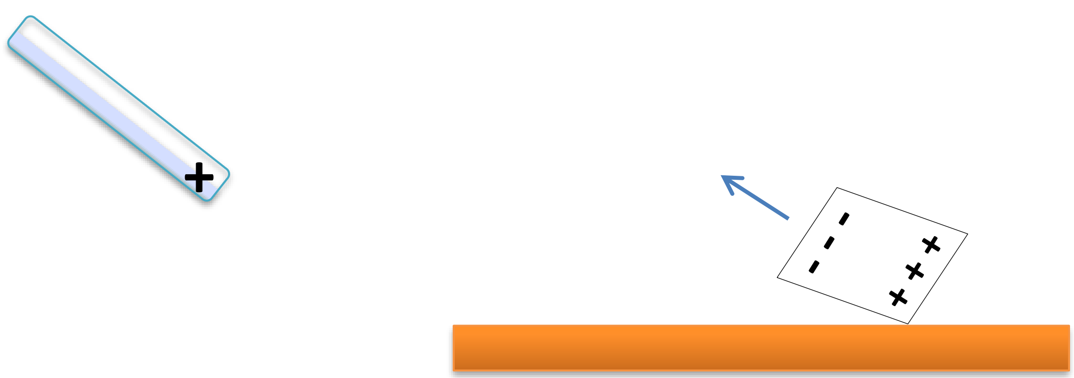
1. Electrostatique

Explication : Expérience réelle n° 1

En frottant le verre, il se charge positivement. Les électrons ont été arrachés par la laine.

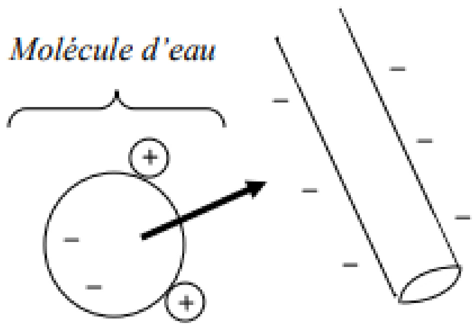


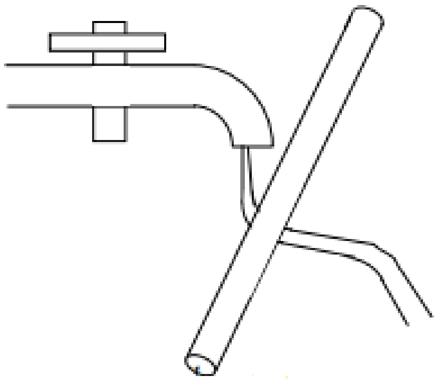
En approchant le verre à ces petits morceaux de papier, ces derniers sont attirés par attraction.
Comme ils sont neutres, leurs extrémités opposées seront chargées positivement :



Explication : Expérience réelle n° 2

Quand on approche du jet une paille chargée négativement, les molécules d'eau s'orientent de telle manière que le barycentre des charges positives soit plus proche de la paille que le barycentre des charges négatives.

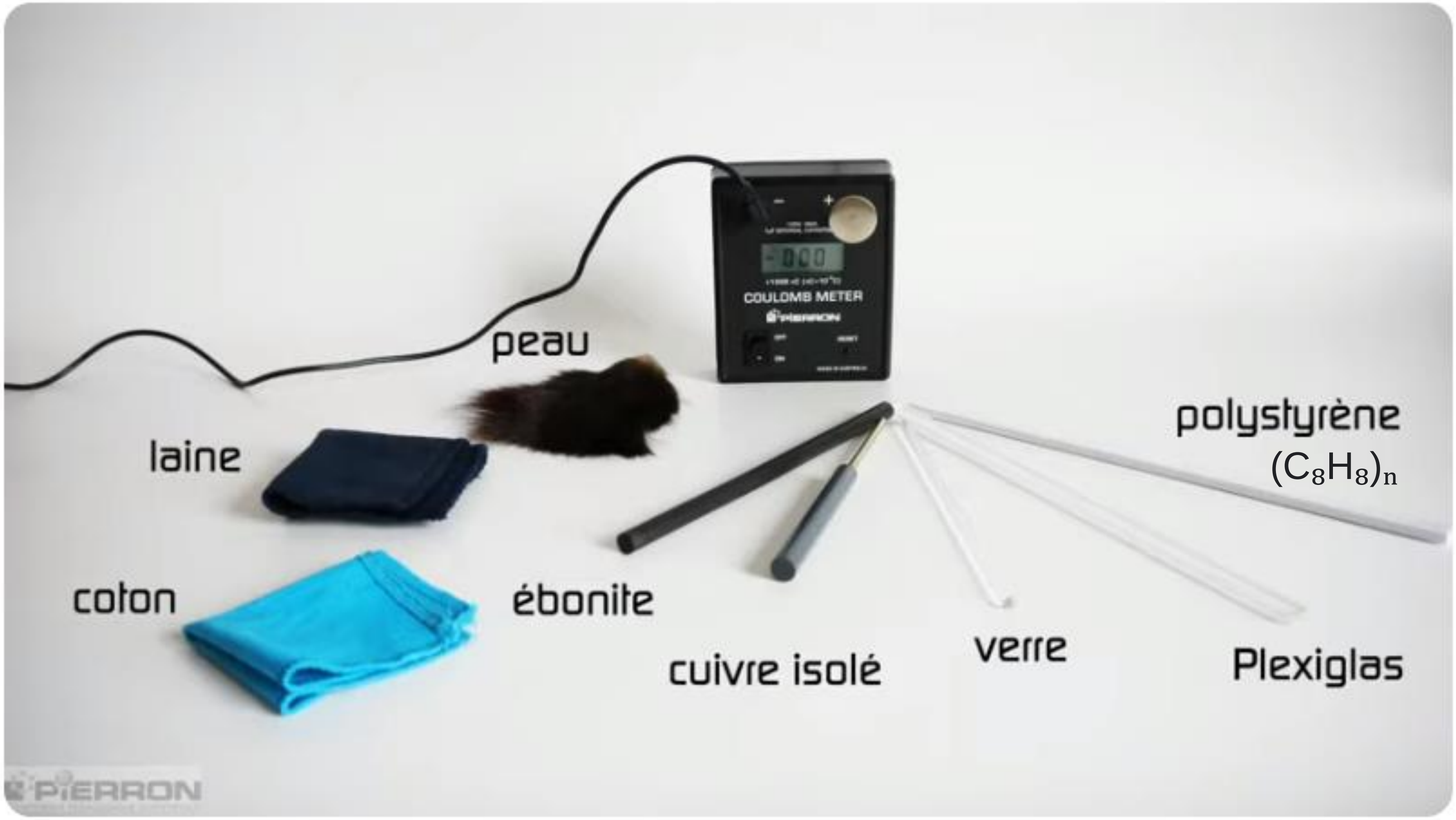




La résultante des forces d'attraction entre les charges négatives de la paille et le centre des charges positives des molécules d'eau est plus intense que la résultante des forces de répulsion entre les charges négatives de la paille et le centre des charges négatives des molécules d'eau.

Il existe trois types d'électrisation : **Par frottement**, **par influence** et **par contact**.

Par frottement



https://www.youtube.com/watch?v=_scdoJMZkFY&list=PPSV

1. Electrostatique

Il existe trois types d'électrisation : **Par frottement**, **par influence** et **par contact**.

Par frottement

1. Electrostatique

Il existe trois types d'électrisation : **Par frottement**, **par influence** et **par contact**.

Par frottement

Il existe trois types d'électrisation : **Par frottement**, **par influence** et **par contact**.

Par frottement

1. Electrostatique

Il existe trois types d'électrisation : **Par frottement**, **par influence** et **par contact**.

Par frottement

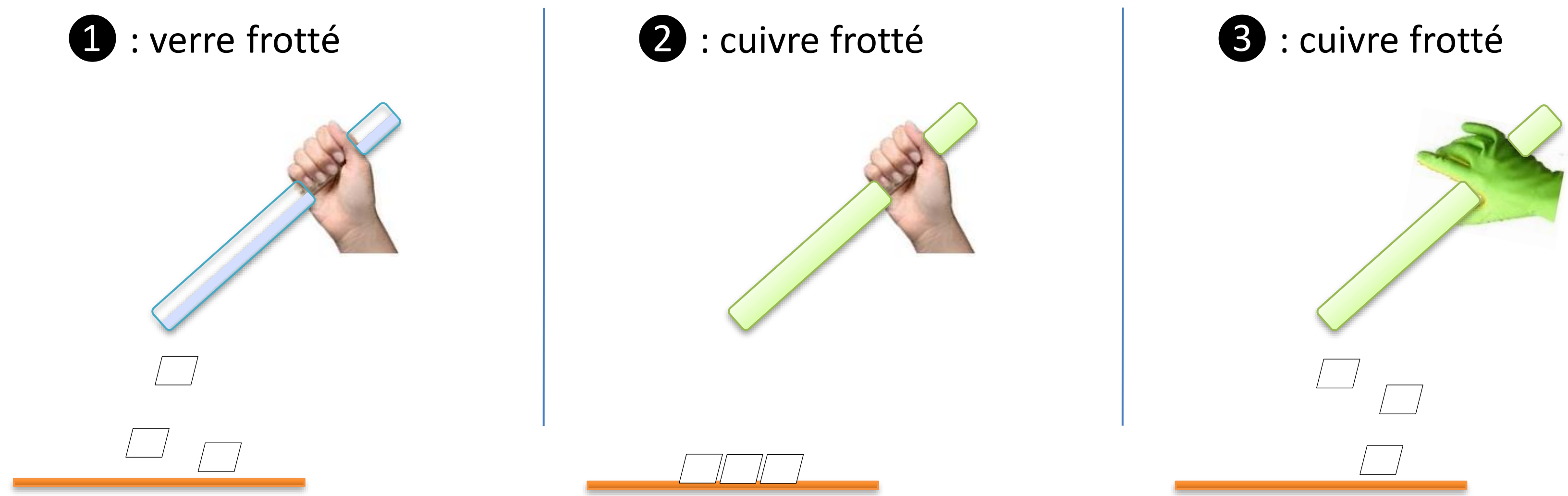
Il existe trois types d'électrisation : **Par frottement**, **par influence** et **par contact**.

Par frottement

1. Electrostatique

Il existe trois types d'électrisation : **Par frottement**, **par influence** et **par contact**.

Par frottement



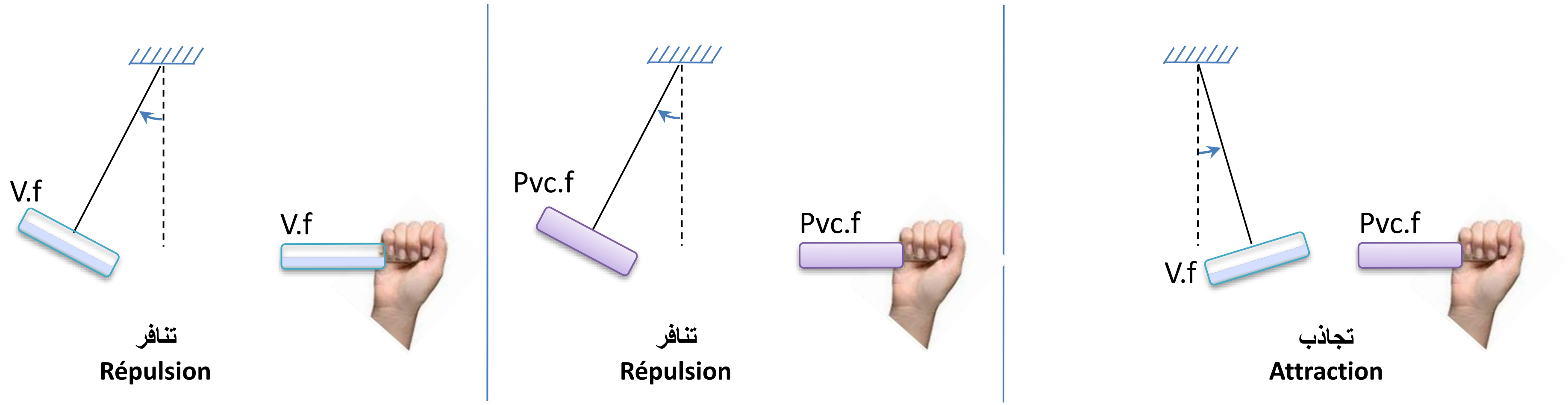
L'expérience (1) montre que les charges acquises par frottement restent localisées dans la partie frottée du verre et ne se répondent pas sur toute la surface: **le verre le PVC, l'ébonite etc. sont des isolants.**

L'expérience (2) montre que les charges dues à l'électrisation par frottement se déplacent dans le cuivre et s'écoulent vers la terre à travers le corps humain .

Dans l'expérience (3), le gant empêche l'écoulement vers la terre. Cette exp. Montre que les **métaux sont des conducteurs.**

1. Electrostatique

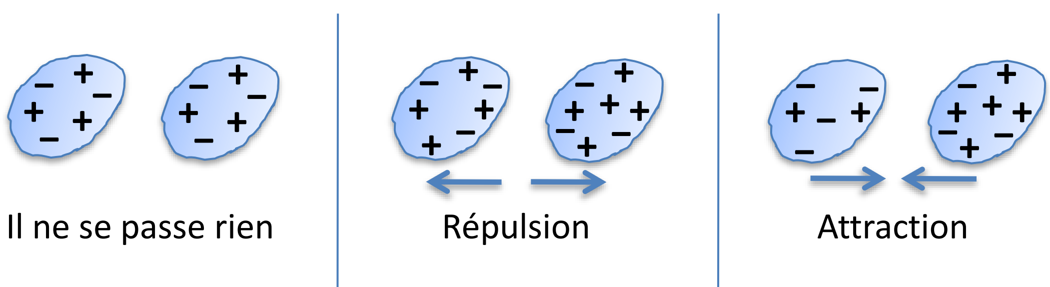
❹ : Mise en évidence de 2 types d'électricité

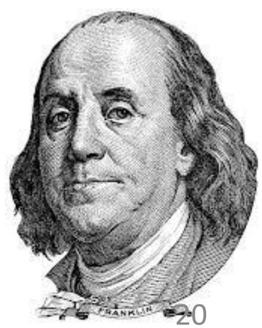


Ces expériences mettent en évidence 2 types d'électricité: Benjamin Franklin (1709−1790) les appela:

- Electricité positive + : portée par le verre frotté,
- Electricité négative − : portée par la résine frottée.

Conclusion : 2 corps chargés de mêmes signes se **repoussent** , alors qu'ils **s'attirent** s'ils sont chargés de signes opposés.

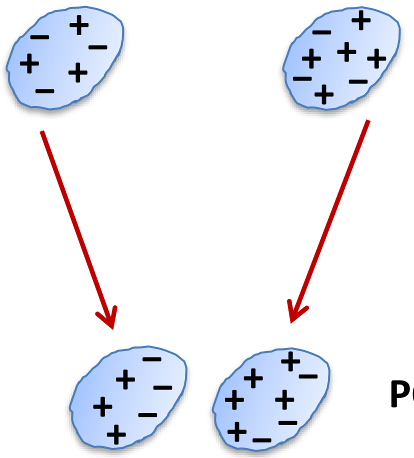




1. Electrostatique

Par influence

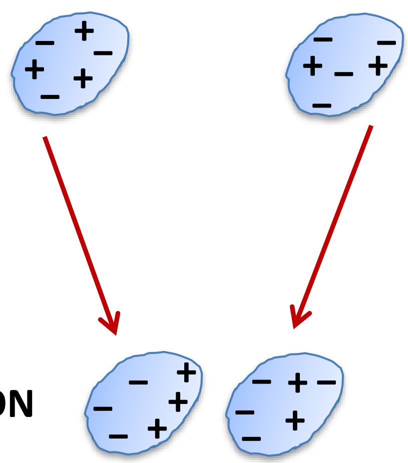
❶ : Approchons un corps neutre d'un corps chargé positivement :



POLARISATION

Dans cette expérience, les charges positives en excès du corps chargé + vont attirer les électrons du corps neutre qui vont se concentrer sur la partie la plus proche du corps. C'est l'électrisation **par influence**.

❷ : Approchons un corps neutre d'un corps chargé négativement :



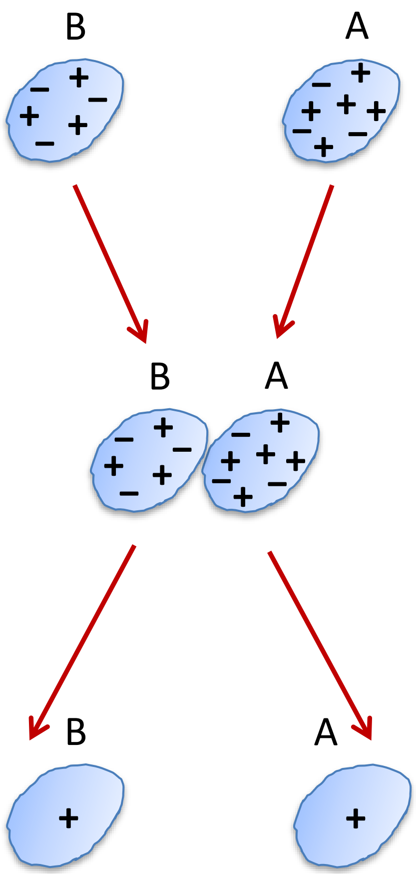
POLARISATION

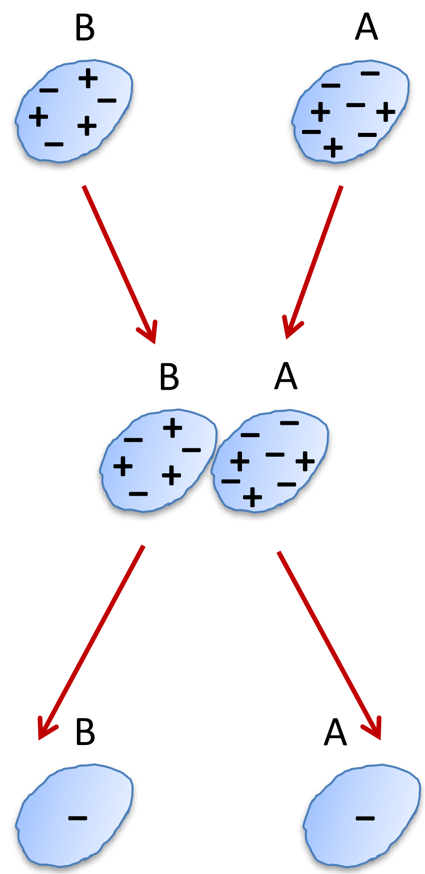
Il en est de même pour (2).

IMPORTANT :
Par influence, les charges ne se déplacent pas d'un corps à un autre.

Par contact

Lorsqu'un corps chargé touche brièvement un corps neutre, le corps neutre prend le même type de charges que celui du corps chargé.



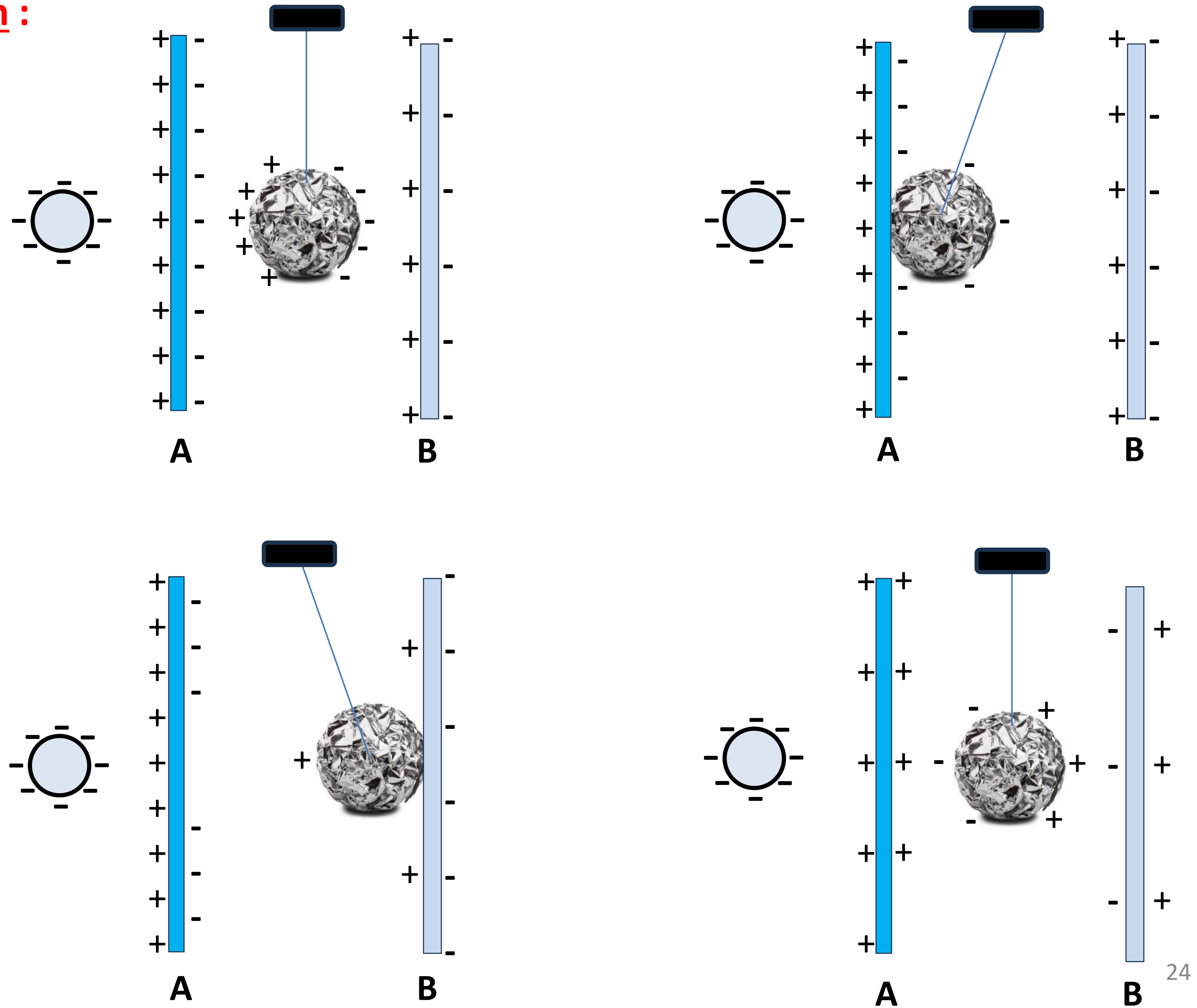


IMPORTANT : Ce sont toujours les électrons qui sont transférés.

Expérience réelle : le carillon électrostatique

Vidéo

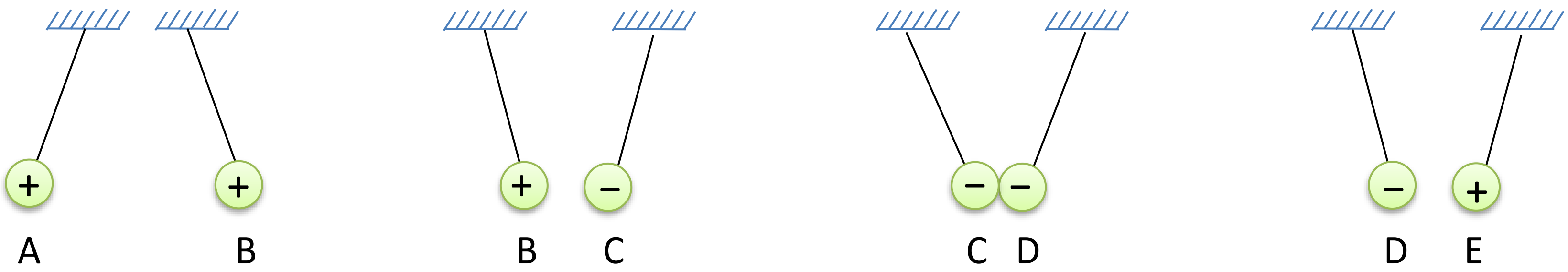
Explication :



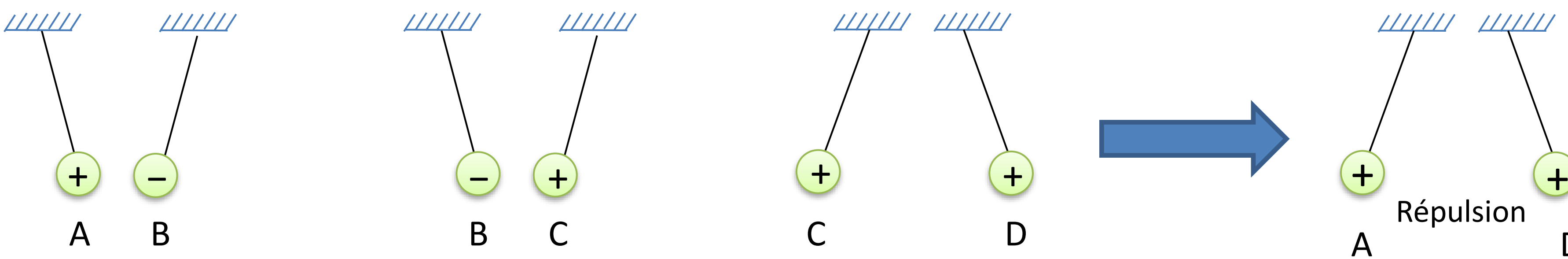
1. Electrostatique

Exemple :

1. Quelle est le type de charges du ballon E ?



2. Que se passe t-il si on approche A de D ?



Exercice : expliquez le phénomène !

2. La charge électrique (q ou$Q$)

Un corps électrisé se caractérise d'un corps non électrisé par une propriété supplémentaire qui est l'électrisation.

- Il existe deux sortes de charges électriques : les charges **positives** et les charges **négatives**.
- Les charges négatives sont portées par des particules très petites appelées : **électrons,**
- Les charges positives sont portées par des particules moins petites appelées : **protons**.
- Tout corps contient à la fois les **charges négatives et les charges positives**.
- Dans un corps **neutre** les charges négatives et les charges positives se compensent :
  la charge totale est nulle.
- L'unité de la charge électrique est : le coulomb (C) , ampère-heure (Ah) :

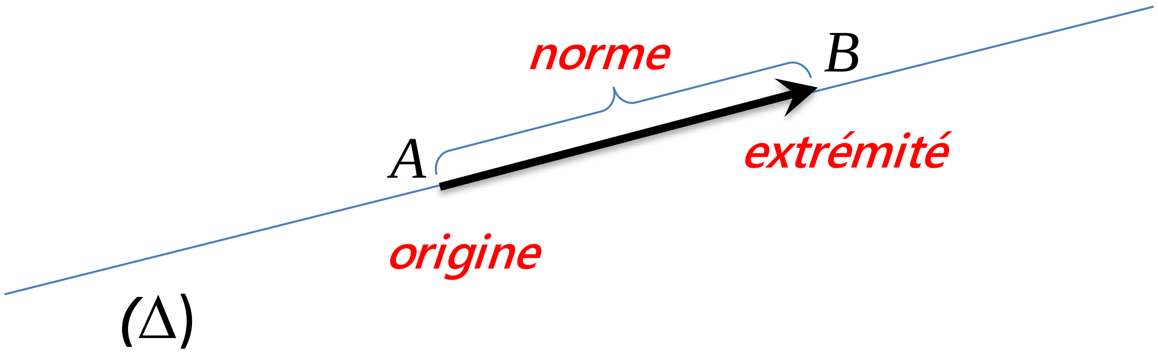
$$q_e = -1.602\times 10^{-19} C$$
$$m_e = 9.109\times 10^{-31} kg$$
$$q_p = +1.602\times 10^{-19} C$$
$$m_p = 1.673\times 10^{-27} kg = 1837\ m_e$$
$$1eV\ (électron\text{-}volt) = 1.602\times 10^{-19}\ J$$
$$1Ah = 3600\ C$$

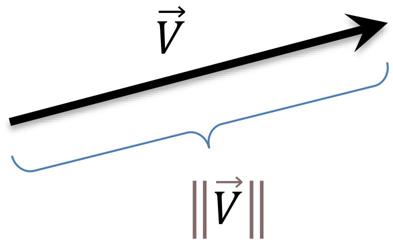
$$1mC = 10^{-3} C$$
$$1\mu C = 10^{-6} C$$
$$1nC = 10^{-9} C$$
$$1pC = 10^{-12} C$$
$$1fC = 10^{-15} C$$

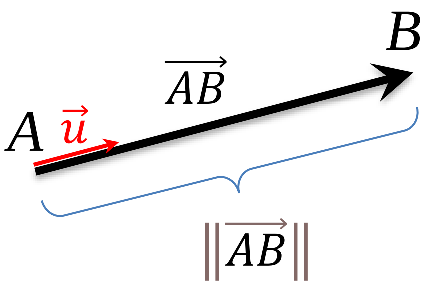
3. Rappel mathématique (les vecteurs)

a) Définition

Un vecteur non nul ($\vec{V} \neq \vec{0}$) est défini par une **direction** (droite Δ), un **sens** (donné par une flèche) et une **norme** (sa longueur).



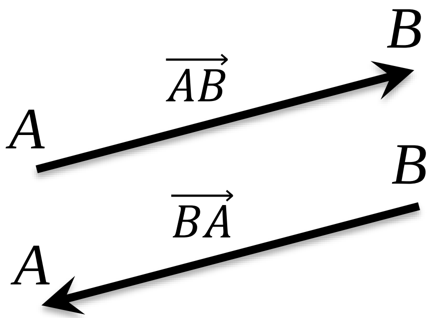




$$\|\overrightarrow{AB}\| = [AB] = AB \quad , \quad \vec{u} = \frac{\overrightarrow{AB}}{\|\overrightarrow{AB}\|} \longrightarrow \|\vec{u}\| = 1$$

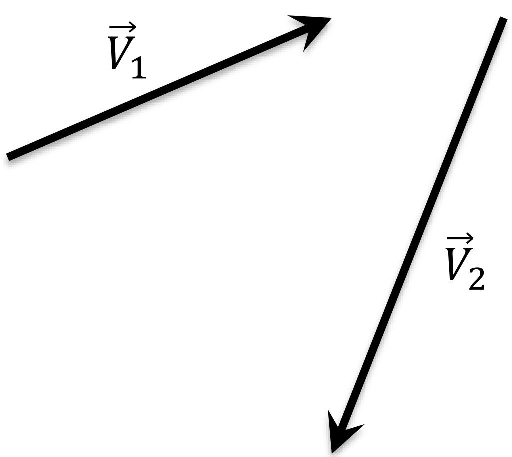
b) Opérations sur les vecteurs

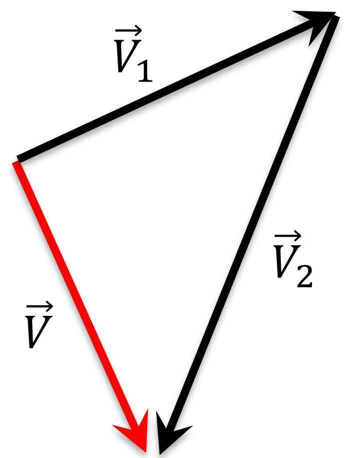
❑ Opposé d'un vecteur :



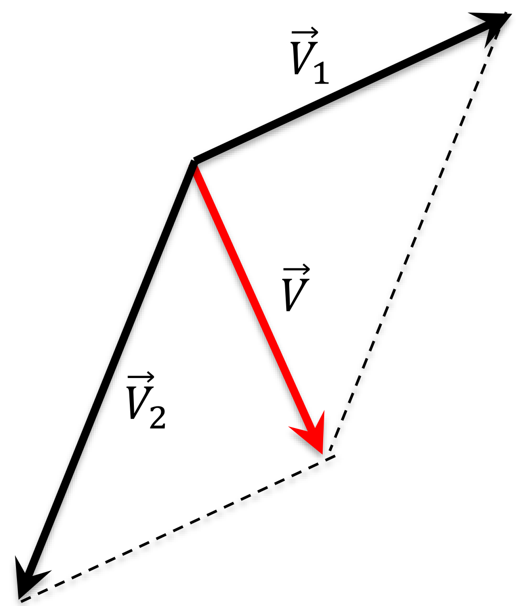
$$\overrightarrow{BA} = -\overrightarrow{AB}$$

❑ Somme de deux vecteurs :



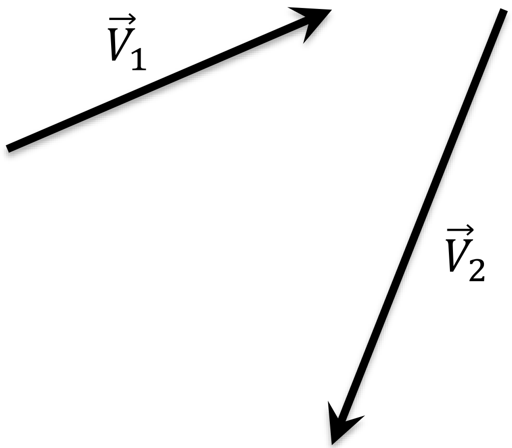


$$\vec{V} = \vec{V}_1 + \vec{V}_2$$

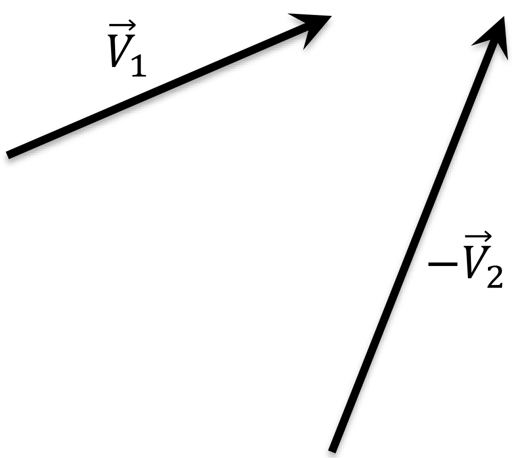


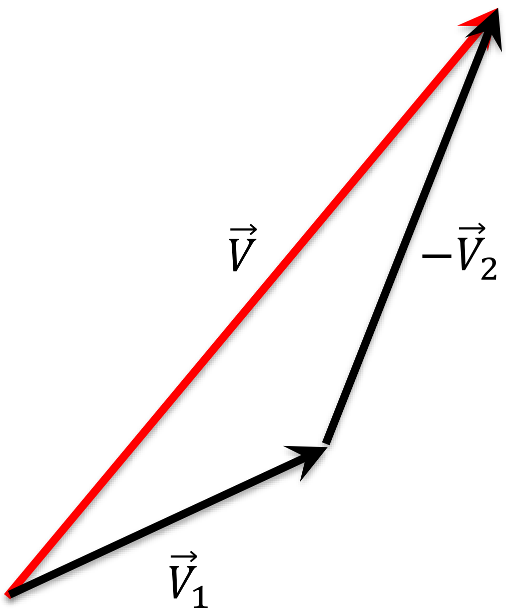
1. Electrostatique

❑ Différence de deux vecteurs :



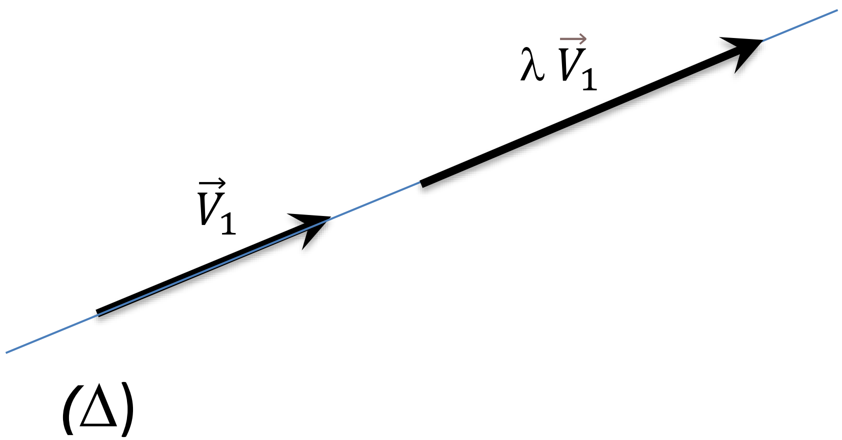
$$\vec{V} = \vec{V}_1 - \vec{V}_2 = \vec{V}_1 + \left(-\vec{V}_2\right)$$





❑ Produit d'un vecteur par un réel :

$\lambda\,\vec{V}_1$

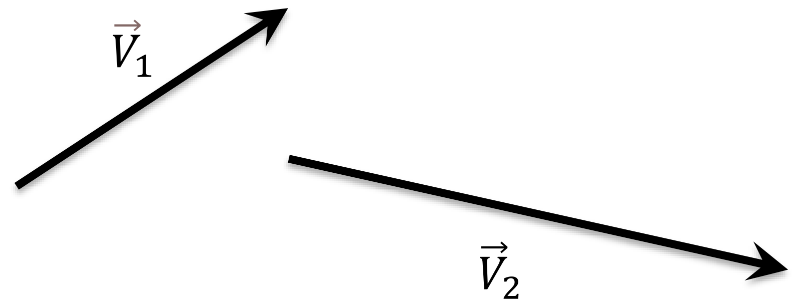


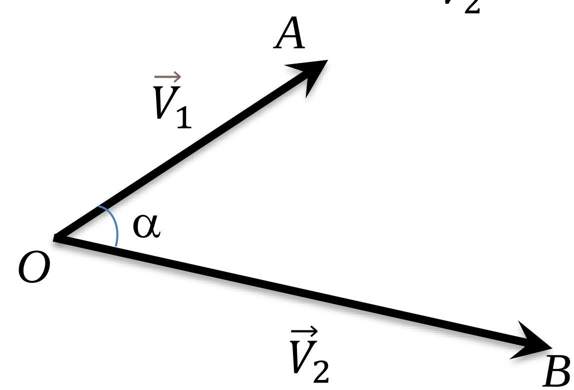
$\lambda\,\vec{V}_1$ à la même direction que $\vec{V}_1$

$\lambda\,\vec{V}_1$ à le même sens que $\vec{V}_1$
si λ>0 ou le sens contraire de $\vec{V}_1$ si λ<0.

Dans les deux cas, $\lambda\,\vec{V}_1$ et $\vec{V}_1$ sont colinéaires.

❑ Produit scalaire de deux vecteurs :





$$\vec{V}_1.\vec{V}_2 = \|\vec{V}_1\|.\|\vec{V}_2\|\,cos\alpha$$

$$\overrightarrow{OA}.\overrightarrow{OB} = \|\overrightarrow{OA}\|.\|\overrightarrow{OB}\|\,cos\alpha$$

$$\vec{V}_1.\vec{V}_2 = 0 \;\longrightarrow\; \vec{V}_1 \perp \vec{V}_2$$

❑ Plan menu d'un repère orthonormé $(O, \vec{i}, \vec{j})$:

Si deux points A et B ont pour coordonnées :

$$A(x_A, y_A) \text{ et } B(x_B, y_B)$$

Alors le vecteur $\overrightarrow{AB}$ a pour composantes :

$$\overrightarrow{AB} \begin{pmatrix} x_B - x_A \\ y_B - y_A \end{pmatrix}$$

$$\overrightarrow{AB} = (x_B - x_A)\vec{i} + (y_B - y_A)\vec{j}$$

$$\|\overrightarrow{AB}\| = \sqrt{(x_B - x_A)^2 + (y_B - y_A)^2}$$

Exemple : on donne les points suivants :

$$A(3, 2) \quad , \quad B(-5, 0) \quad , \quad C(2, -3)$$

Calculer l'angle entre le vecteur $\overrightarrow{AB}$ et le vecteur $\overrightarrow{AC}$.

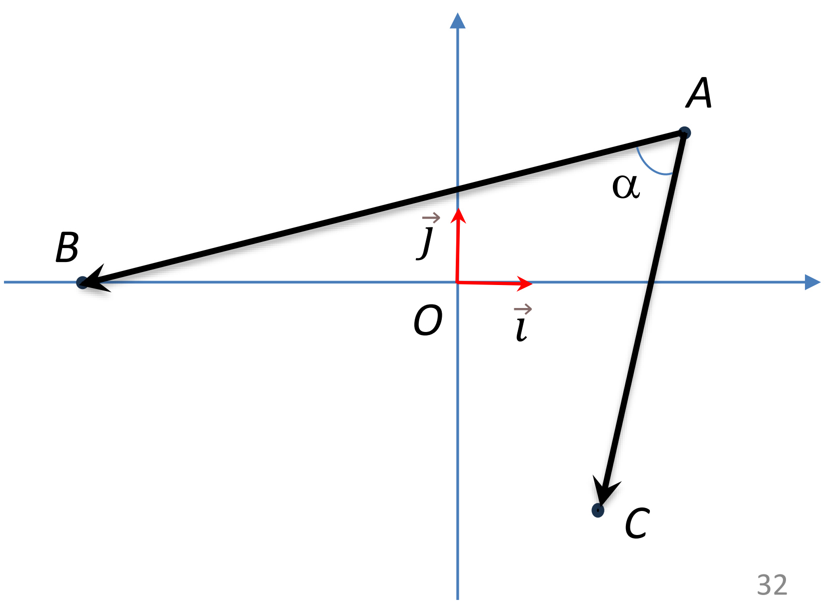
$$\overrightarrow{AB}.\overrightarrow{AC} = \|\overrightarrow{AB}\|.\|\overrightarrow{AC}\| \cos\alpha$$

$$\overrightarrow{AB} = -8\,\vec{i} - 2\,\vec{j}$$

$$\overrightarrow{AC} = -\,\vec{i} - 5\,\vec{j}$$

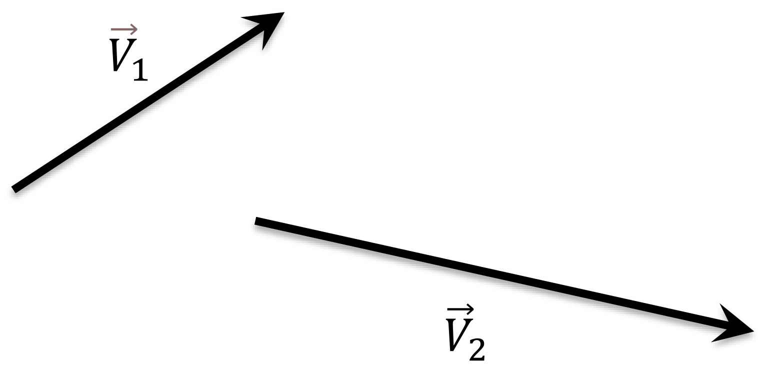
$$\cos\alpha = \frac{\overrightarrow{AB}.\overrightarrow{AC}}{\|\overrightarrow{AB}\|.\|\overrightarrow{AC}\|} = \frac{18}{\sqrt{68} \times \sqrt{26}} = 0.43$$

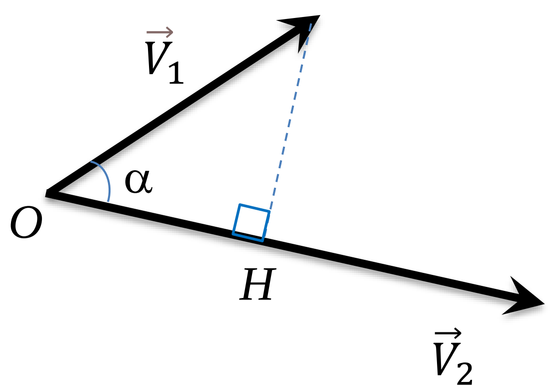
$$\boxed{\alpha = 64.69°}$$



1. Electrostatique

❑ Projection d'un vecteur sur un autre :





$$OH = proj(\vec{V}_1/\vec{V}_2) = \frac{\vec{V}_1 . \vec{V}_2}{\|\vec{V}_2\|}$$

$$OH = \frac{\|\vec{V}_1\| . \|\vec{V}_2\|}{\|\vec{V}_2\|} \cos\alpha$$

$$OH = \|\vec{V}_1\| \cos\alpha$$

Exemple : on donne :

$$\vec{V}_1 = 3\vec{i} + 4\vec{j} \quad et \quad \vec{V}_2 = -2\vec{j}$$

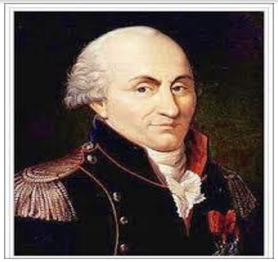
Calculer : $proj(\vec{V}_1/\vec{V}_2)$, $proj(\vec{V}_2/\vec{V}_1)$

$$proj\left(\frac{\vec{V}_1}{\vec{V}_2}\right) = \frac{\vec{V}_1 . \vec{V}_2}{\|\vec{V}_2\|} = -\frac{8}{2} = -4$$

$$proj\left(\frac{\vec{V}_2}{\vec{V}_1}\right) = \frac{\vec{V}_1 . \vec{V}_2}{\|\vec{V}_1\|} = -\frac{8}{5} = -1.6$$

4. La force électrique (F)

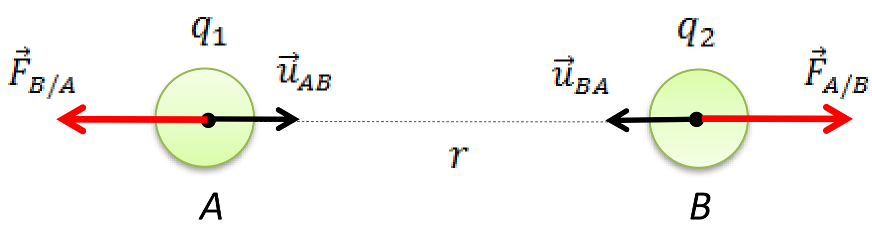
a) Loi de Coulomb



(Charles Augustin Coulomb, 1736-1806)

Soient deux charges q_1 et q_2 immobiles placées aux points A et B dans le vide.

$\boxed{q_1, q_2 > 0}$



Force exercée par q_1 sur q_2 :

$$\vec{F}_{A/B} = k\frac{q_1 q_2}{r^2}\vec{u}_{AB} \qquad k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon_r}$$

$$[F] = Newton\ (N)$$

Dans le vide $\varepsilon_r = 1 \longrightarrow k = \frac{1}{4\pi\,\varepsilon_0} = 9.10^9\ S.I$

$$\vec{u}_{AB} = \frac{\overrightarrow{AB}}{\|\overrightarrow{AB}\|}$$

$$\vec{F}_{A/B} = k\frac{q_1 q_2}{\|\overrightarrow{AB}\|^2}.\frac{\overrightarrow{AB}}{\|\overrightarrow{AB}\|} = k\frac{q_1 q_2}{\|\overrightarrow{AB}\|^3}.\overrightarrow{AB}$$

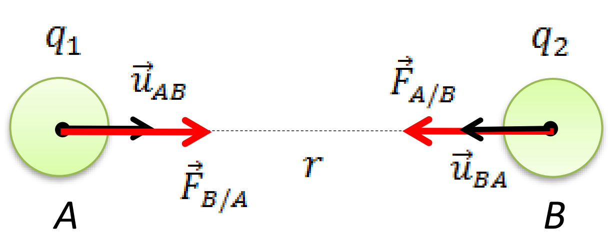
Force exercée par q_2 sur q_1 :

$$\vec{F}_{B/A} = k\frac{q_1 q_2}{r^2}\vec{u}_{BA}$$

$$\vec{u}_{BA} = \frac{\overrightarrow{BA}}{\|\overrightarrow{AB}\|} \quad , \quad r = \|\overrightarrow{AB}\|$$

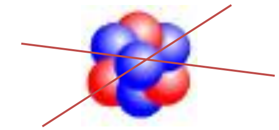
$$\vec{F}_{B/A} = k\frac{q_1 q_2}{\|\overrightarrow{AB}\|^2}.\frac{\overrightarrow{BA}}{\|\overrightarrow{AB}\|} = k\frac{q_1 q_2}{\|\overrightarrow{AB}\|^3}.\overrightarrow{BA}$$

$\boxed{q_1 > 0\,, q_2 < 0}$



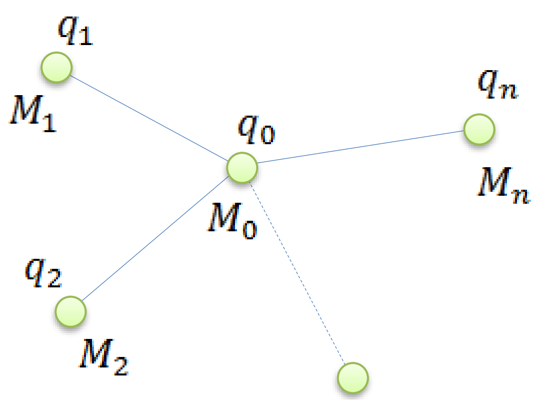
1. Electrostatique

Validité de la loi de Coulomb : $r \geq 10^{-12} m$ Si $r < 10^{-12} m$, les charges ne peuvent plus être considérées comme ponctuelles.



b) Principe de superposition

Soient $(q_0, q_1, q_2, \dots, q_n)$ charges placées, respectivement, aux points $(M_0, M_1, M_2, \dots, M_n)$ dans le vide.



$$\vec{F}_{10} = k \frac{q_1 q_0}{\left\|\overrightarrow{M_1 M_0}\right\|^3} \overrightarrow{M_1 M_0}$$

$$\vec{F}_{20} = k \frac{q_2 q_0}{\left\|\overrightarrow{M_2 M_0}\right\|^3} \overrightarrow{M_2 M_0}$$

... ...

$$\vec{F}_{n0} = k \frac{q_n q_0}{\left\|\overrightarrow{M_n M_0}\right\|^3} \overrightarrow{M_n M_0}$$

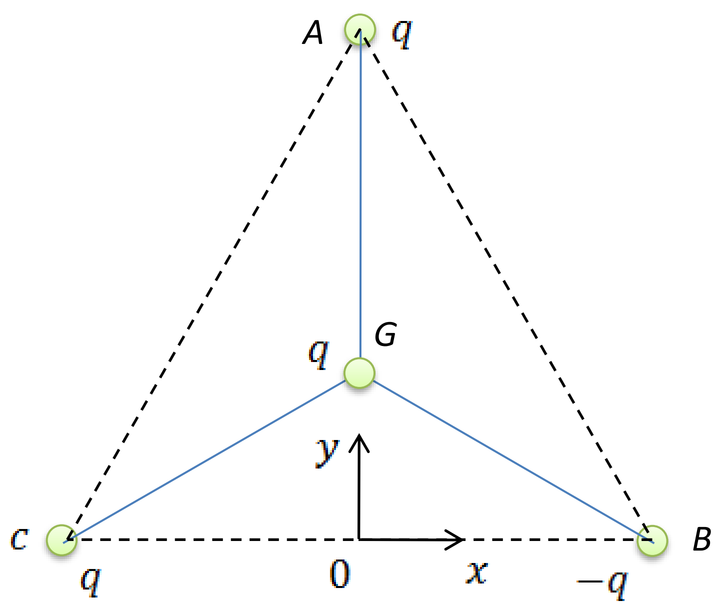
La force exercée par l'ensemble des charges sur la charge q_0 située au point M_0 est :

$$\vec{F}_0 = \vec{F}_{10} + \vec{F}_{20} + \cdots + \vec{F}_{n0}$$

$$\boxed{\vec{F}_0 = k q_0 \sum_{i=1}^{n} \frac{q_i}{\left\|\overrightarrow{M_i M_0}\right\|^3} \overrightarrow{M_i M_0}}$$

Exemple :

Calcul de la force exercée par trois charges 1µC , - 1µC et 1µC, placées aux sommets d'un triangle équilatéral de coté 1cm sur une charge de 1µC située au centre du triangle.



$$\vec{F}_G = \vec{F}_{AG} + \vec{F}_{BG} + \vec{F}_{CG}$$

$$\vec{F}_{AG} = k \frac{q^2}{\|\overrightarrow{AG}\|^3} \overrightarrow{AG}$$

$$\vec{F}_{BG} = -k \frac{q^2}{\|\overrightarrow{BG}\|^3} \overrightarrow{BG}$$

$$\vec{F}_{CG} = k \frac{q^2}{\|\overrightarrow{CG}\|^3} \overrightarrow{CG}$$

$$\|\overrightarrow{AG}\| = \|\overrightarrow{BG}\| = \|\overrightarrow{CG}\|$$

$$\vec{F}_G = k \frac{q^2}{\|\overrightarrow{AG}\|^3} \left(\overrightarrow{AG} - \overrightarrow{BG} + \overrightarrow{CG}\right)$$

$$A(0, y_A)\ ,\ B(a, 0)\ ,\ C(-a, 0)\ ,\ G(0, y_G)$$

$$sin(60°) = \frac{y_A}{2a} \rightarrow y_A = a\sqrt{3}$$

$$tg(30°) = \frac{y_G}{a} \rightarrow y_G = \frac{a}{\sqrt{3}}$$

$$\overrightarrow{AG} = \left(\frac{a}{\sqrt{3}} - a\sqrt{3}\right)\vec{j} = -\frac{2a}{\sqrt{3}}\,\vec{j}$$

$$\left\|\overrightarrow{AG}\right\|^3 = \frac{8a^3}{3\sqrt{3}}$$

$$\overrightarrow{BG} = -a\vec{\imath} + \frac{a}{\sqrt{3}}\vec{j}$$

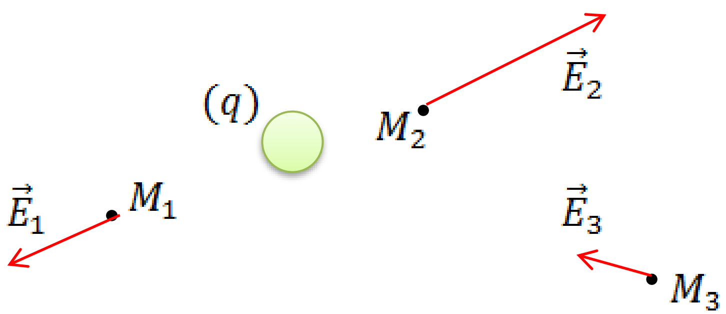
$$\overrightarrow{CG} = +a\vec{\imath} + \frac{a}{\sqrt{3}}\vec{j}$$

$$\overrightarrow{AG} - \overrightarrow{BG} + \overrightarrow{CG} = 2a\vec{\imath} - \frac{2a}{\sqrt{3}}\vec{j} = \frac{2a}{\sqrt{3}}\left(\sqrt{3}\,\vec{\imath} - \vec{j}\right)$$

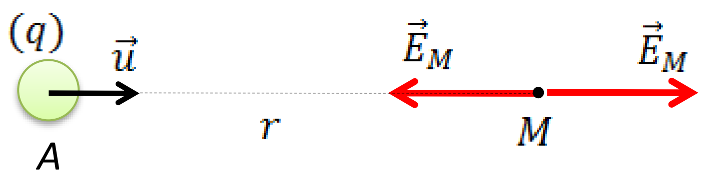
$$\boxed{\begin{gathered}\vec{F}_G = 3k\,\frac{q^2}{4a^2}\left(\sqrt{3}\,\vec{\imath} - \vec{j}\right)\\ F_G = \left\|\vec{F}_G\right\| = 3k\,\frac{q^2}{2a^2}\\ F_G = 135\ N\end{gathered}}$$

5. Le champ électrique ($\vec{E}$)

Les propriétés de l’espace qui entourent une charge électrique sont traduites par l’existence d’un champ électrique.



a) Cas d’une seule charge



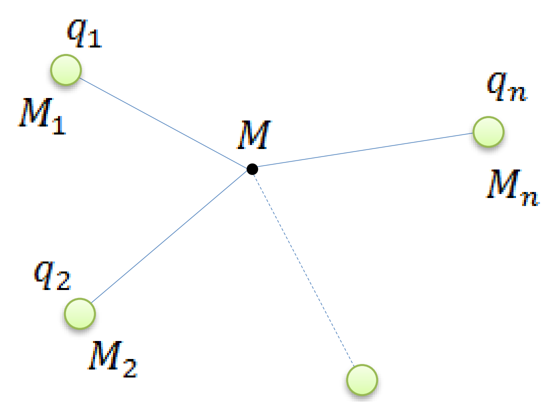
$$\vec{E}_M = k\,\frac{q}{r^2}\,\vec{u}$$

$$[E] = Volt.mètre\ (V.m)$$

$$\vec{u} = \frac{\overrightarrow{AM}}{\|\overrightarrow{AM}\|} \quad , \quad r = \|\overrightarrow{AM}\|$$

$$\boxed{\vec{E}_M = k\,\frac{q}{\|\overrightarrow{AM}\|^3}\overrightarrow{AM}}$$

b) Cas de plusieurs charges (Principe de superposition)



Le champ crée par l’ensemble des charges au point M est :

$$\vec{E}_M = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \cdots + \vec{E}_n$$

$$\vec{E}_1 = k \frac{q_1}{\left\|\overrightarrow{M_1M}\right\|^3}\overrightarrow{M_1M}$$

$$\vec{E}_2 = k \frac{q_2}{\left\|\overrightarrow{M_2M}\right\|^3}\overrightarrow{M_2M}$$

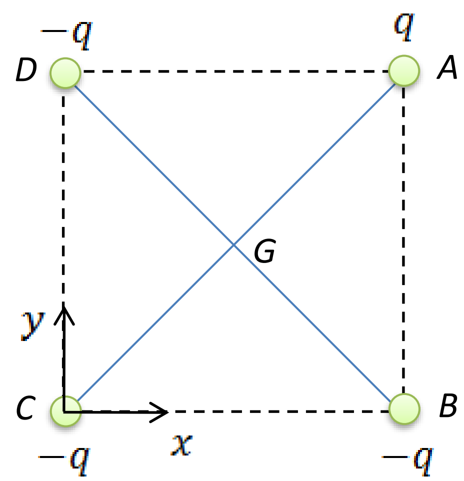
… … … … … … … … … …

$$\vec{E}_n = k \frac{q_n}{\left\|\overrightarrow{M_nM}\right\|^3}\overrightarrow{M_nM}$$

$$\boxed{\vec{E}_M = k \sum_{i=1}^{n} \frac{q_i}{\left\|\overrightarrow{M_iM}\right\|^3}\overrightarrow{M_iM}}$$

Exemple :

Calcul du champ électrique, crée par 4 charges $(q, -q, -q, -q)$ placées aux sommets d'un carré de côté $2a$, au centre du carré.



$$\vec{E}_G = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3 + \vec{E}_4$$

$$\vec{E}_1 = k \frac{q}{\left\|\overrightarrow{AG}\right\|^3}\overrightarrow{AG} \quad , \quad \vec{E}_2 = -k \frac{q}{\left\|\overrightarrow{BG}\right\|^3}\overrightarrow{BG}$$

$$\vec{E}_3 = -k \frac{q}{\left\|\overrightarrow{CG}\right\|^3}\overrightarrow{CG} \quad , \quad \vec{E}_4 = -k \frac{q}{\left\|\overrightarrow{DG}\right\|^3}\overrightarrow{DG}$$

$$\left\|\overrightarrow{AG}\right\| = \left\|\overrightarrow{BG}\right\| = \left\|\overrightarrow{CG}\right\| = \left\|\overrightarrow{DG}\right\|$$

$$\vec{E}_G = k \frac{q}{\left\|\overrightarrow{AG}\right\|^3}\left(\overrightarrow{AG} - \overrightarrow{BG} - \overrightarrow{CG} - \overrightarrow{DG}\right)$$

$$\vec{E}_G = k\frac{q}{\|\overrightarrow{AG}\|^3}\left(\overrightarrow{AG} - \overrightarrow{BG} - \overrightarrow{CG} - \overrightarrow{DG}\right)$$

$$A(2a, 2a) \ , \ B(2a, 0) \ , \ C(0,0)$$

$$D(0,2a) \ , \ G(a, a)$$

$$\overrightarrow{AG} = -a\vec{\imath} - a\vec{\jmath}$$

$$\overrightarrow{BG} = -a\vec{\imath} + a\vec{\jmath}$$

$$\overrightarrow{CG} = +a\vec{\imath} + a\vec{\jmath}$$

$$\overrightarrow{DG} = +a\vec{\imath} - a\vec{\jmath}$$

$$\|\overrightarrow{AG}\|^3 = 2a^3\sqrt{2}$$

$$\overrightarrow{AG} - \overrightarrow{BG} - \overrightarrow{CG} - \overrightarrow{DG} = -2a\vec{\imath} - 2a\vec{\jmath}$$

$$\boxed{\begin{gathered}\vec{E}_G = -k\frac{q}{a^2\sqrt{2}}(\vec{\imath} + \vec{\jmath}) \\ E_G = \|\vec{E}_G\| = k\frac{q}{a^2} = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 a^2}\end{gathered}}$$

c) Relation entre $\vec{E}$ et $\vec{F}$

$$\vec{E}_M = k\,\frac{q}{r^2}\,\vec{u}$$

Si on place au point M une autre charge q', elle est soumise à une force :

$$\vec{F}_M = k\frac{qq'}{r^2}\vec{u}$$

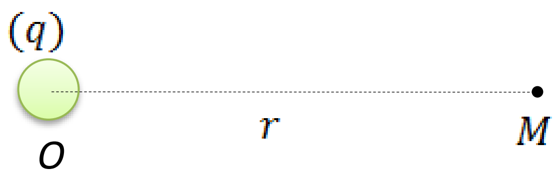
D'où :

$$\boxed{\vec{F}_M = q'.\vec{E}_M}$$

6. Le potentiel électrique (V)

a) Cas d'une seule charge

En un point M situé à la distance r d'un point O, il existe un potentiel V tel que :

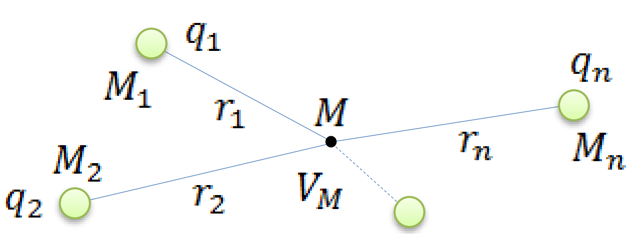


$$V_M = k\frac{q}{r} + Cste$$

$$V_M(\infty) = 0$$

$$[V_M] = volt\ (V)$$

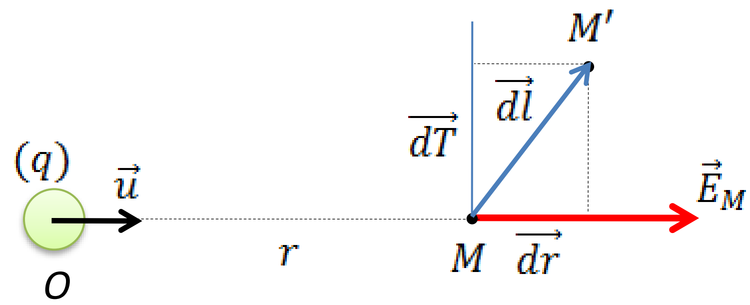
b) Cas de *n* charges



$$V_M = \sum_{i=1}^{n} V_i = \sum_{i=1}^{n} k\frac{q_i}{r_i} + Cste$$

c) Relation entre $\vec{E}$ et V

Soit une charge q au point O :



$$\vec{E}_M = k\,\frac{q}{r^2}\,\vec{u}$$

$$\vec{u} = \frac{\vec{r}}{r} \rightarrow \vec{E}_M = k\,\frac{q}{r^3}\,\vec{r}$$

Soit un point M' très proche de M, tel que :

$$\overrightarrow{MM'} = \vec{dl}$$

La **circulation** élémentaire du vecteur $\vec{E}_M$ du point M au point M' est définie par :

$$dC = \vec{E}_M . \vec{dl}$$

$$dC = k\,\frac{q}{r^3}\,\vec{r}.\overrightarrow{dl} \quad , \quad \overrightarrow{dl} = \overrightarrow{dr} + \overrightarrow{dT}$$

$$\vec{r}.\overrightarrow{dl} = \vec{r}.\left(\overrightarrow{dr} + \overrightarrow{dT}\right) = \vec{r}.\overrightarrow{dr} + \underbrace{\vec{r}.\overrightarrow{dT}}_{0}$$

$$dC = k\,\frac{q}{r^3}\,\vec{r}.\overrightarrow{dr} = \vec{E}_M.\overrightarrow{dr}$$

Entre *M* et *M'* existe une DDP, dV_M, tel que :

$$dV_M = -dC$$

D'où :

$$\boxed{dV_M = -\vec{E}_M.\overrightarrow{dr}}$$

Vérification de l'expression de V_M :

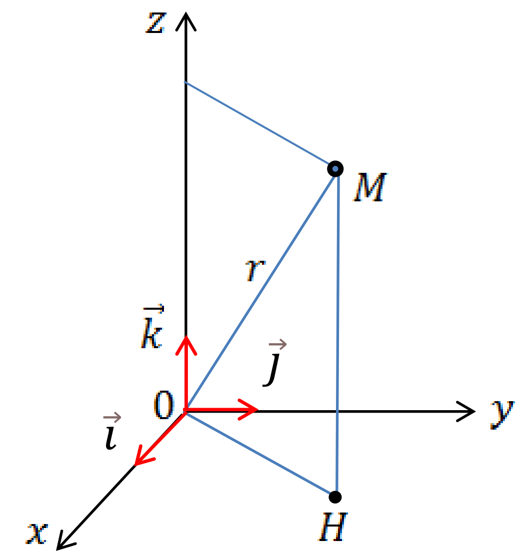
$$dV_M = -k\,\frac{q}{r^3}\,\vec{r}.\overrightarrow{dr}$$

$$V_M = -\int k\,\frac{q}{r^3}\,\vec{r}.\overrightarrow{dr} \quad , \quad \vec{r}.\overrightarrow{dr} = r.dr$$

$$V_M = -\int k\,\frac{q}{r^2}\,dr = k\frac{q}{r} + Cste$$

❑ $\vec{E}$ en coordonnées cartésiennes (*x*,*y*)

Soit un point *M* dont le vecteur position est :



$$\vec{r} = \overrightarrow{OM} = \overrightarrow{OH} + \overrightarrow{HM}$$

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

$$\overrightarrow{dr} = dx\,\vec{i} + dy\,\vec{j} + dz\,\vec{k}$$

$$V = f(x, y, z)$$

$$dV = \frac{\partial V}{\partial x} dx + \frac{\partial V}{\partial y} dy + \frac{\partial V}{\partial z} dz$$

$$\overrightarrow{grad}(V) = \frac{\partial V}{\partial x}\vec{i} + \frac{\partial V}{\partial y}\vec{j} + \frac{\partial V}{\partial z}\vec{k}$$

$$\overrightarrow{dr}.\overrightarrow{grad}(V) = \frac{\partial V}{\partial x} dx + \frac{\partial V}{\partial y} dy + \frac{\partial V}{\partial z} dz$$

$$dV = \overrightarrow{grad}(V).\overrightarrow{dr} = -\vec{E}.\overrightarrow{dr}$$

$$\vec{E} = -\overrightarrow{grad}(V)$$

$$\boxed{\vec{E} = -\left(\frac{\partial V}{\partial x}\vec{i} + \frac{\partial V}{\partial y}\vec{j} + \frac{\partial V}{\partial z}\vec{k}\right)}$$

Exemple :

$$V = 3x^2 e^{-y}$$

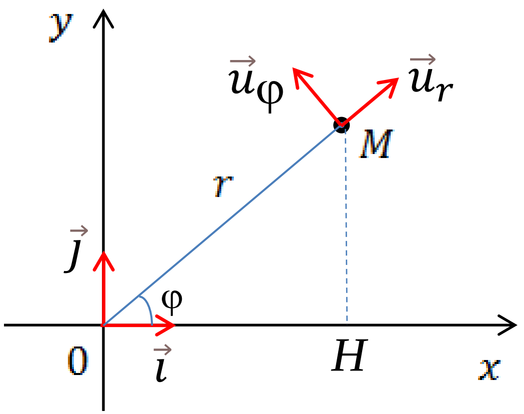
$$\frac{\partial V}{\partial x} = 6x\, e^{-y} \; , \; \frac{\partial V}{\partial y} = -3x^2 e^{-y} \; , \; \frac{\partial V}{\partial z} = 0$$

$$\vec{E} = -6x\, e^{-y}\,\vec{i} + 3x^2 e^{-y}\,\vec{j}$$

$$\vec{E} = -3x\, e^{-y}\,(2\,\vec{i} - x\,\vec{j})$$

❑ $\vec{E}$ en coordonnées polaires (r, φ)

Soit un point *M* dont le vecteur position est :



$$\vec{r} = \overrightarrow{OM} = r.\vec{u}_r$$

$$\overrightarrow{dr} = d(r.\vec{u}_r) = dr.\vec{u}_r + r.d\vec{u}_r$$

$$\vec{u}_r = cos\varphi.\vec{i} + sin\varphi.\vec{j}$$

$$\vec{u}_\varphi = -sin\varphi.\vec{i} + cos\varphi.\vec{j}$$

$$\frac{d\vec{u}_r}{d\varphi} = \vec{u}_\varphi \longrightarrow d\vec{u}_r = d\varphi.\vec{u}_\varphi$$

$$\overrightarrow{dr} = dr.\vec{u}_r + r\, d\varphi.\vec{u}_\varphi$$

$$V = f(r, \varphi)$$

$$dV = \frac{\partial v}{\partial r} dr + \partial \frac{v \partial}{\varphi} d\varphi$$

$$\overrightarrow{grad(V)} = X.\vec{u}_r + Y.\vec{u}_\varphi$$

$$dV = \overrightarrow{grad(V)}.\overrightarrow{dr} = X.dr + Yr.d\varphi$$

$$X = \frac{\partial V}{\partial r} \quad , \quad Y = \frac{1}{r}.\frac{\partial V}{\partial \varphi}$$

$$\overrightarrow{grad(V)} = \frac{\partial V}{\partial r}.\vec{u}_r + \frac{1}{r}.\frac{\partial V}{\partial \varphi}.\vec{u}_\varphi$$

$$\boxed{\vec{\boldsymbol{E}} = -\left(\frac{\partial \boldsymbol{V}}{\partial \boldsymbol{r}}.\vec{\boldsymbol{u}}_{\boldsymbol{r}} + \frac{\boldsymbol{1}}{\boldsymbol{r}}.\frac{\partial \boldsymbol{V}}{\partial \varphi}.\vec{\boldsymbol{u}}_\varphi\right)}$$

Exemple :

$$V = \frac{3\, cos\varphi}{r^2}$$

$$\frac{\partial V}{\partial r} = -\frac{6\, cos\varphi}{r^3} \quad , \quad \frac{\partial V}{\partial \varphi} = -\frac{3\, sin\varphi}{r^2}$$

$$\vec{\boldsymbol{E}} = \frac{6\, cos\varphi}{r^3}.\vec{\boldsymbol{u}}_{\boldsymbol{r}} + \frac{3\, sin\varphi}{r^3}.\vec{\boldsymbol{u}}_\varphi$$

$$\vec{\boldsymbol{E}} = \frac{3}{r^3}\left(2\, cos\varphi.\vec{\boldsymbol{u}}_{\boldsymbol{r}} + sin\varphi.\vec{\boldsymbol{u}}_\varphi\right)$$

$$\boldsymbol{E} = \left\|\vec{\boldsymbol{E}}\right\| = \frac{3}{\boldsymbol{r}^3}\sqrt{3\, \boldsymbol{cos}^2\varphi + 1}$$

Exemple d'application :

Illustration de la notion de gradient pour la température de l'atmosphère.

Nous pouvons considérer qu'entre deux villes A et B, la température ne dépend que de la latitude (x) et de l'altitude (y) de la façon suivante :

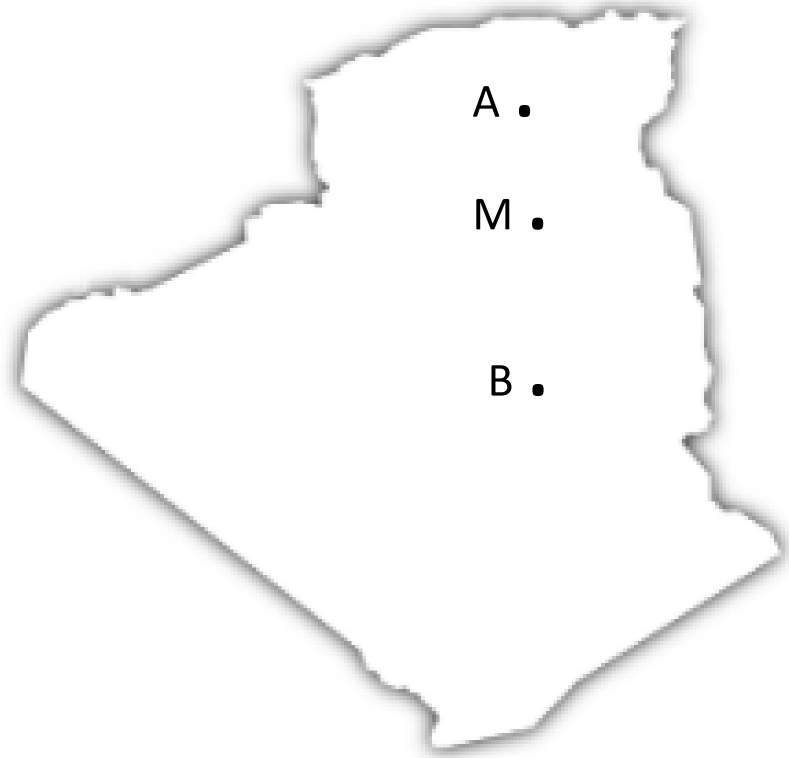
La température décroit de 7°C lorsque l'altitude augmente de 1000 m.
La température augmente de 10°C lorsqu'on se déplace de 100 km vers le sud.

Il est alors possible de définir un vecteur :

$$\overrightarrow{grad(T)} = \frac{\partial T}{\partial x}\vec{\imath} + \frac{\partial T}{\partial y}\vec{\jmath}$$

$$\overrightarrow{grad(T)} = \frac{10}{10^5}\vec{\imath} - \frac{7}{10^3}\vec{\jmath}$$

$$\overrightarrow{dr} = dx\,\vec{\imath} + dy\,\vec{\jmath}$$



Connaissant la température en A (36 °C par exemple), il est alors possible de calculer la température en tout point entre A et B.

Par exemple au point M (100 km au sud et 700 m au dessus de A).

$$\overrightarrow{grad(T)} = \frac{\partial T}{\partial x}\vec{\imath} + \frac{\partial T}{\partial y}\vec{\jmath}$$

$$\overrightarrow{grad(T)} = \frac{10}{10^5}\vec{\imath} - \frac{7}{10^3}\vec{\jmath}$$

$$\overrightarrow{dr} = dx\,\vec{\imath} + dy\,\vec{\jmath}$$

$$dT = \overrightarrow{dr}.\overrightarrow{grad(T)} = \frac{10}{10^5}dx - \frac{7}{10^3}dy$$

$$dT = \frac{10}{10^5}10^5 - \frac{7}{10^3}700 = 5.1\ °C$$

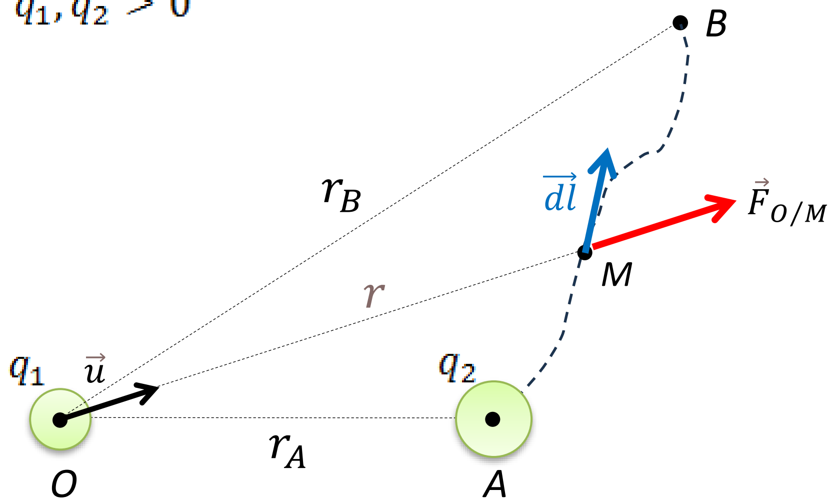
$$\boldsymbol{T = 36 + 5.1 = 41.1\ °C}$$

7. Energie potentielle électrique (*Ep*)

a) Travail d'une force

Soit un système de 2 charges ponctuelles :

$q_1, q_2 > 0$

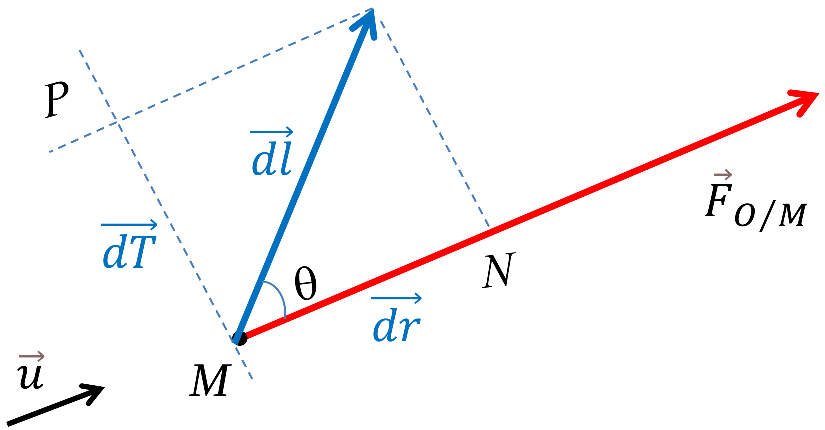


$$\vec{F}_{O/M} = K\frac{q_1 q_2}{r^2}\vec{u}$$

Le travail élémentaire qu'il faut fournir pour déplacer q_2 d'un déplacement $\overrightarrow{dl}$ est défini par :

$$dW = \vec{F}_{O/M}\,\overrightarrow{dl} = K\frac{q_1 q_2}{r^2}\vec{u}.\overrightarrow{dl}$$

$$dW = \vec{F}_{O/M}\,\overrightarrow{dl} = K\frac{q_1 q_2}{r^2}\vec{u}.\overrightarrow{dl}$$



$$\overrightarrow{dl} = \overrightarrow{dr} + \overrightarrow{dT}$$

$$\vec{u}.\overrightarrow{dl} = \vec{u}\,.\left(\overrightarrow{dr} + \overrightarrow{dT}\right) = \vec{u}\,.\overrightarrow{dr} + \vec{u}\,.\overrightarrow{dT}$$

$$\vec{u}.\overrightarrow{dl} = \vec{u}\,.\overrightarrow{dr} = dr$$

$$dW = K\frac{q_1 q_2}{r^2}\,dr$$

Le long du trajet de A à B, on obtient :

$$W_{AB} = \int_{r_A}^{r_B} K\frac{q_1 q_2}{r^2}\,dr = \frac{q_1 q_2}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{1}{r_A} - \frac{1}{r_B}\right)$$

Ce travail ne dépend pas du chemin suivi. Force conservative.

b) Energie potentielle électrique

Par définition :

$$dE_p = -dW \longrightarrow \int_A^B dE_p = -\int_A^B dW$$

$$E_p\,(B) - E_p\,(A) = -\frac{q_1 q_2}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{1}{r_A} - \frac{1}{r_B}\right)$$

Soit :

$$E_p\,(A) = \frac{q_1 q_2}{4\pi\varepsilon_0 r_A} \quad , \quad E_p\,(B) = \frac{q_1 q_2}{4\pi\varepsilon_0 r_B}$$

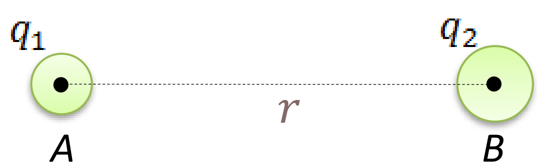
1. Electrostatique

D'une façon générale, on écrit :

$$\boxed{E_p = \frac{q_1 q_2}{4\pi\varepsilon_0 r} = k\frac{q_1 q_2}{r}}$$

C'est l'énergie potentielle électrostatique d'un système de deux charges séparées par une distance *r*.

On peut écrire aussi :



$$V_A = k\frac{q_2}{r} \quad , \quad V_B = k\frac{q_1}{r}$$

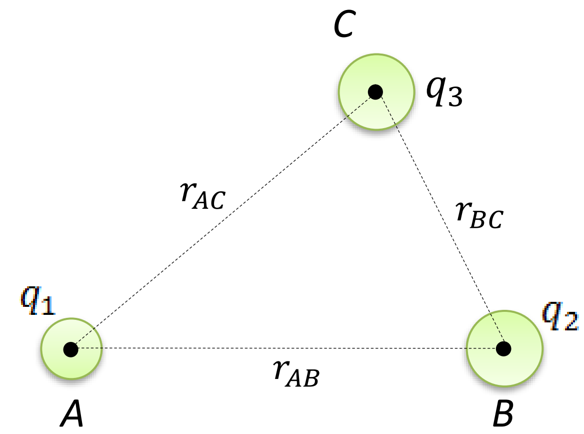
$$E_p = k\frac{q_1 q_2}{r} = q_1 k\frac{q_2}{r} = q_2 k\frac{q_1}{r}$$

$$E_p = q_1 V_A = q_2 V_B$$

D'où :

$$\boxed{\boldsymbol{E_p = \frac{1}{2}(q_1 V_A + q_2 V_B)}}$$

Cas de 3 charges ::



$$V_A = k\frac{q_2}{r_{AB}} + k\frac{q_3}{r_{AC}} \quad , \quad V_B = k\frac{q_1}{r_{AB}} + k\frac{q_3}{r_{BC}}$$

$$V_C = k\frac{q_1}{r_{AC}} + k\frac{q_2}{r_{BC}}$$

$$E_p = E_p(q_1, q_2) + E_p(q_2, q_3) + E_p(q_1, q_3)$$

$$E_p = E_p(q_1, q_2) + E_p(q_2, q_3) + E_p(q_1, q_3)$$

$$E_p = k\frac{q_1 q_2}{r_{AB}} + k\frac{q_2 q_3}{r_{BC}} + k\frac{q_1 q_3}{r_{AC}}$$

$$E_p = \frac{1}{2}\left[k\frac{q_1 q_2}{r_{AB}} + k\frac{q_2 q_3}{r_{BC}} + k\frac{q_1 q_3}{r_{AC}}\right]$$

$$+\frac{1}{2}\left[k\frac{q_1 q_2}{r_{AB}} + k\frac{q_2 q_3}{r_{BC}} + k\frac{q_1 q_3}{r_{AC}}\right]$$

$$E_p = \frac{1}{2}\left[q_1 \underbrace{\left(\frac{kq_2}{r_{AB}} + \frac{kq_3}{r_{AC}}\right)}_{\boldsymbol{V_A}} + q_2 \underbrace{\left(\frac{kq_1}{r_{AB}} + \frac{kq_3}{r_{BC}}\right)}_{\boldsymbol{V_B}} + q_3 \underbrace{\left(\frac{kq_1}{r_{AC}} + \frac{kq_2}{r_{BC}}\right)}_{\boldsymbol{V_C}}\right]$$

D’où :

$$\boxed{\boldsymbol{E_p = \frac{1}{2}(q_1 V_A + q_2 V_B + q_3 V_C)}}$$

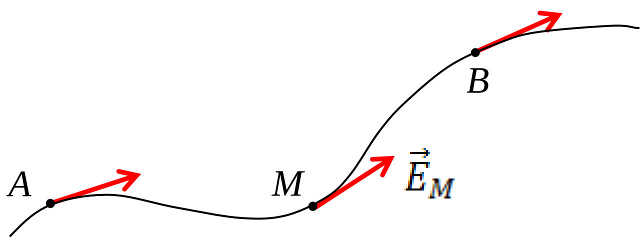
Dans le cas de *n* charges :

$$\boxed{\boldsymbol{E_p = \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{n} q_i V_i}}$$

8. Caractéristiques importantes entre le champ et le potentiel

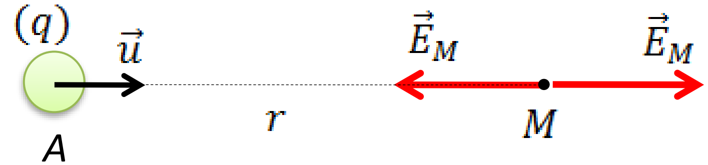
a) Lignes de champ

Une ligne de champ est une courbe dont la tangente en tout point M est colinéaire au champ en ce point.

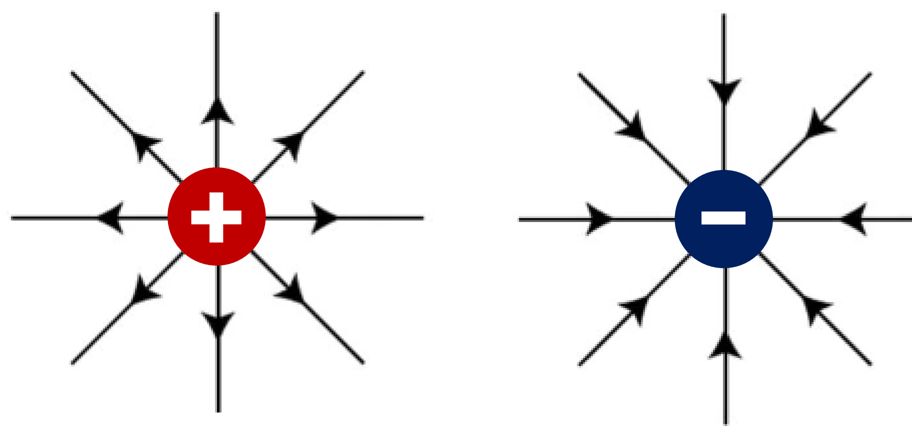


C'est la trajectoire du champ électrique.

Cas d'une charge ponctuelle :



$$\vec{E}_M = k\,\frac{q}{r^2}\,\vec{u}$$

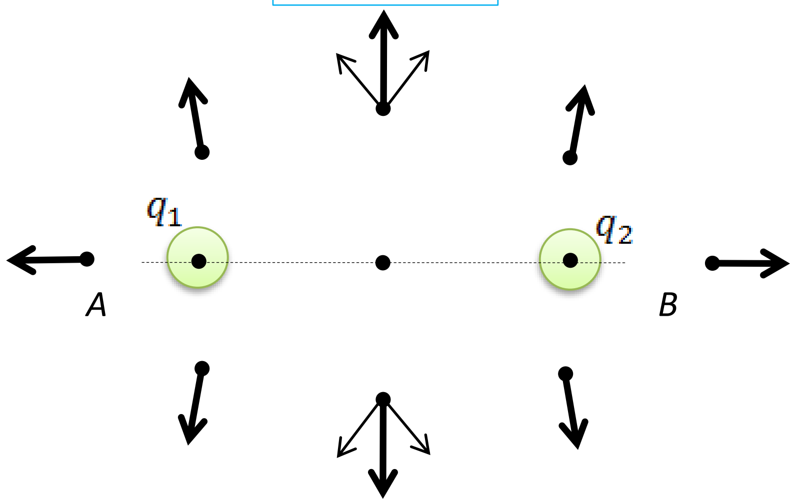


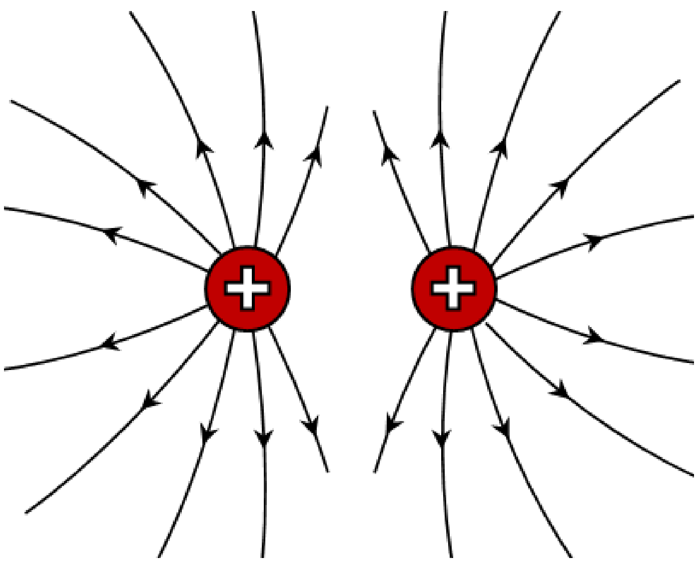
$q > 0$ $q < 0$

1. Electrostatique

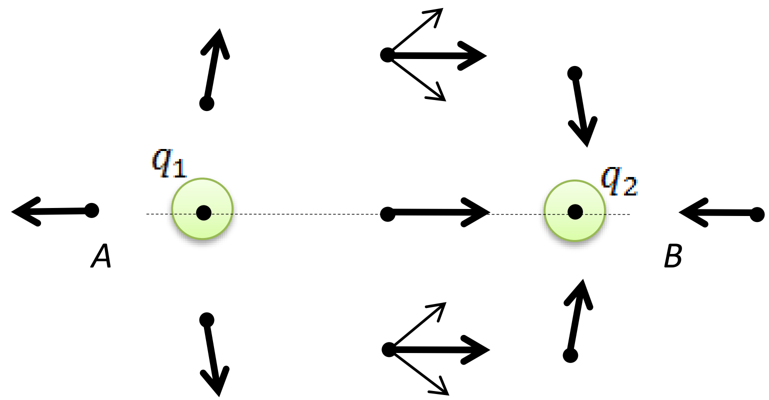
Cas de deux charges ponctuelles :

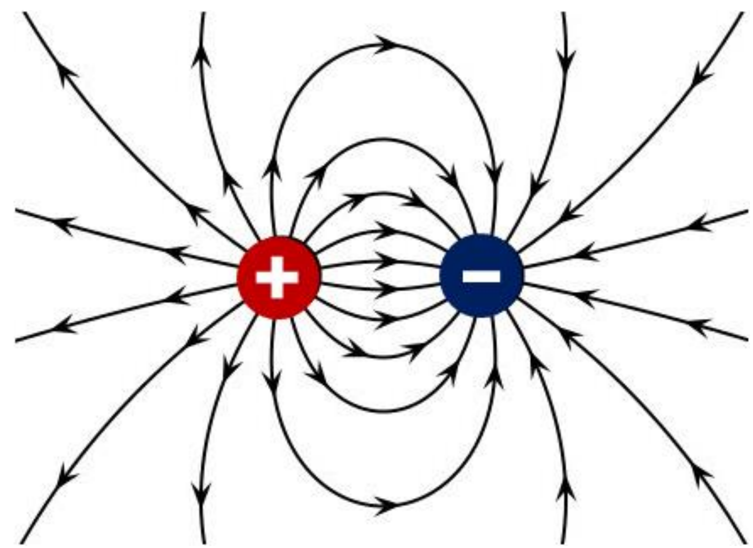
$\boxed{q_1 = q_2}$





$\boxed{q_1 = -q_2}$





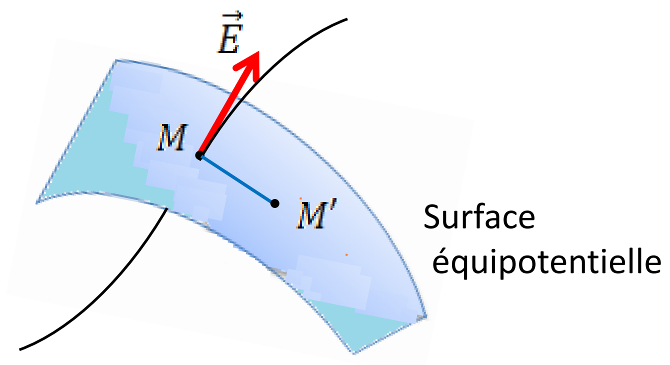
b) Surfaces équipotentielles

Une surface équipotentielle est une zone de points *M* tels que :

$$V_M = Cste$$

Les surfaces équipotentielles sont toujours $\perp$ aux lignes de champ.

Dim :



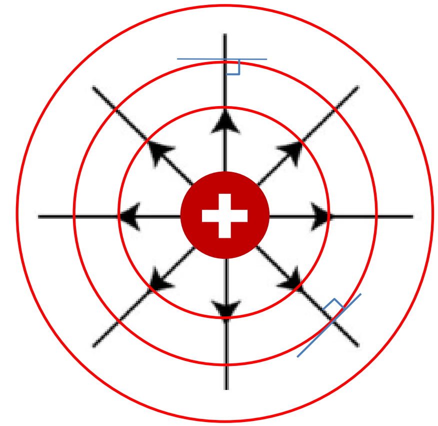
$$\overrightarrow{MM'} = \overrightarrow{dl} \qquad dV = -\vec{E}.\overrightarrow{dl}$$

$$\int_{V_M}^{V_{M'}} dV = -\int_{\overrightarrow{MM'}} \vec{E}.\overrightarrow{dl}$$

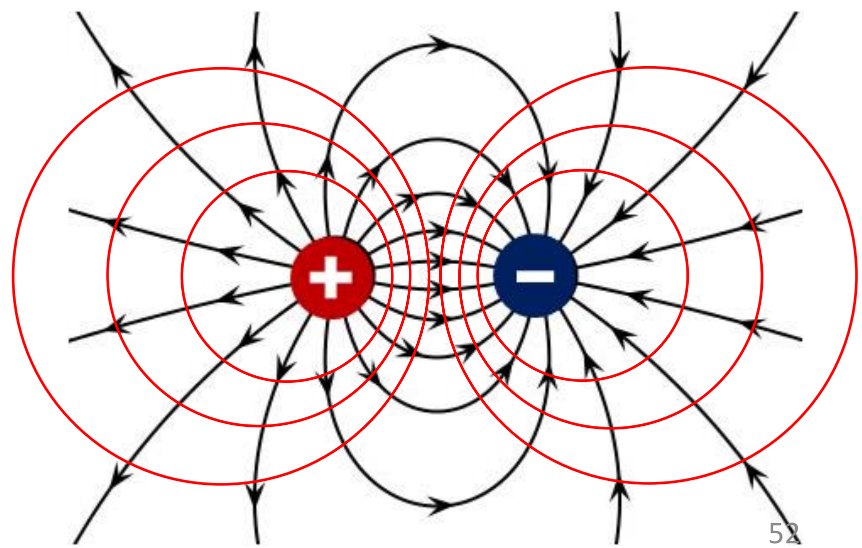
$$V_{M'} - V_M = \vec{E}.\overrightarrow{MM'}$$

$$V_{M'} - V_M = 0 \rightarrow \boxed{\vec{E} \perp \overrightarrow{MM'}}$$

Cas d'une charge ponctuelle :

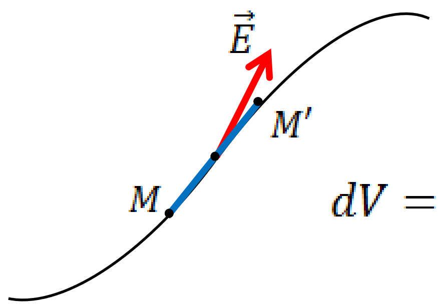


Cas de deux charges ponctuelles :



c) Le potentiel diminue le long d'une ligne de champ !

Dim :



$$\overrightarrow{MM'} = \overrightarrow{dl}$$

$$dV = -\vec{E}.\overrightarrow{dl}$$

$$\int_{V_M}^{V_{M'}} dV = -\int_{\overrightarrow{MM'}} \vec{E}.\overrightarrow{dl}$$

$$V_{M'} - V_M = -\vec{E}.\overrightarrow{MM'}$$

$$V_{M'} - V_M = -\|\vec{E}\|.\|\overrightarrow{MM'}\|.cos\alpha$$

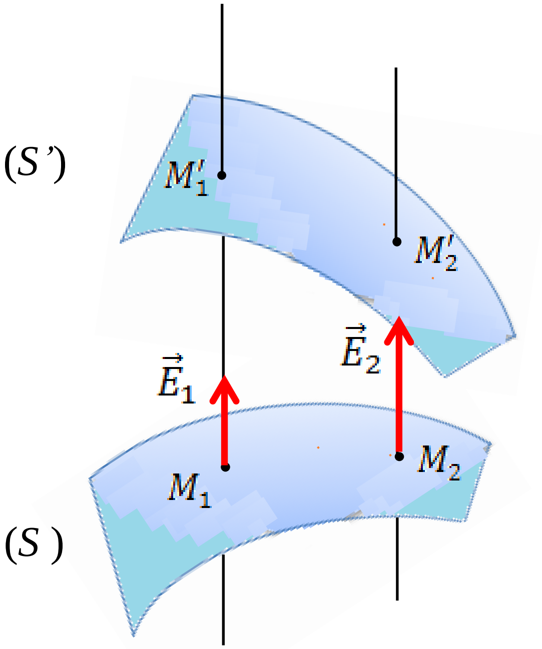
$$cos\alpha \approx 1$$

$$V_{M'} - V_M = -\|\vec{E}\|.\|\overrightarrow{MM'}\| < 0$$

$$\boxed{V_{M'} < V_M}$$

d) Les surfaces équipotentielles se rapprochent lorsqu'on passe d'une zone dont le champ est inf. à une zone dont le champ est sup !

Dim :



$$V(M_1) = V(M_2)$$

$$V(M_1') = V(M_2')$$

$$\left\|\overrightarrow{M_1M_1'}\right\| > \left\|\overrightarrow{M_2M_2'}\right\|$$

$$dV_1 = -\vec{E}_1.\vec{dl}_1 \quad , \quad dV_2 = -\vec{E}_2.\vec{dl}_2$$

$$\int_{V(M_1)}^{V(M_1')} dV_1 = -\int_{\overrightarrow{M_1M_1'}} \vec{E}_1.\vec{dl}_1 = -\|\vec{E}_1\|.\left\|\overrightarrow{M_1M_1'}\right\|$$

$$\int_{V(M_2)}^{V(M_2')} dV_1 = -\int_{\overrightarrow{M_2M_2'}} \vec{E}_2.\vec{dl}_2 = -\|\vec{E}_2\|.\left\|\overrightarrow{M_2M_2'}\right\|$$

$$\begin{cases} V(M_1') - V(M_1) = -\|\vec{E}_1\|.\left\|\overrightarrow{M_1M_1'}\right\| \\ V(M_2') - V(M_2) = -\|\vec{E}_2\|.\left\|\overrightarrow{M_2M_2'}\right\| \end{cases}$$

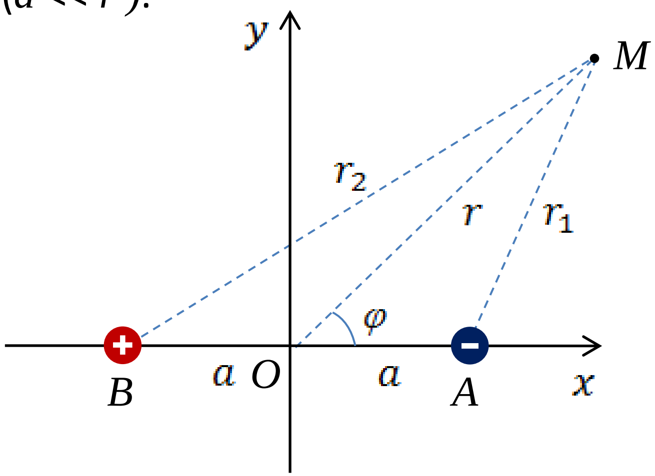
$$-\|\vec{E}_1\|.\left\|\overrightarrow{M_1M_1'}\right\| + \|\vec{E}_2\|.\left\|\overrightarrow{M_2M_2'}\right\| = 0$$

$$\|\vec{E}_1\|.\left\|\overrightarrow{M_1M_1'}\right\| = \|\vec{E}_2\|.\left\|\overrightarrow{M_2M_2'}\right\| \rightarrow \frac{\|\vec{E}_1\|}{\|\vec{E}_2\|} =. \frac{\left\|\overrightarrow{M_2M_2'}\right\|}{\left\|\overrightarrow{M_1M_1'}\right\|}$$

$$\boxed{\left\|\overrightarrow{M_1M_1'}\right\| > \left\|\overrightarrow{M_2M_2'}\right\| \rightarrow \|\vec{E}_1\| < \|\vec{E}_2\|}$$

9. Dipôles électriques

Le dipôle électrostatique est un système composé de deux charges électriques de mêmes valeurs et de signes opposés ($+q$) et ($-q$), séparées par une distance (d) très petite devant la distance (r) jusqu'au point considérer du champ ($d << r$).



$$d = 2a$$

a) Calcul de *V*

$$V_1 = -k\frac{q}{r_1} \quad , \quad V_2 = k\frac{q}{r_2}$$

$$V = \sum_{i=1}^{2} V_i = V_1 + V_2 = -kq\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)$$

$$\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} = f(r, \varphi)$$

$$\overrightarrow{AM} = \overrightarrow{AO} + \overrightarrow{OM} \ , \ \overrightarrow{BM} = \overrightarrow{BO} + \overrightarrow{OM}$$

$$r_1^2 = \left\|\overrightarrow{AM}\right\|^2 = \left\|\overrightarrow{AO}\right\|^2 + \left\|\overrightarrow{OM}\right\|^2 + 2.\overrightarrow{AO}.\overrightarrow{OM}$$

$$\overrightarrow{AO}.\overrightarrow{OM} = a.r.\cos(\pi - \varphi) = -ar.cos\varphi$$

$$r_2^2 = \left\|\overrightarrow{BM}\right\|^2 = \left\|\overrightarrow{BO}\right\|^2 + \left\|\overrightarrow{OM}\right\|^2 + 2.\overrightarrow{BO}.\overrightarrow{OM}$$

$$\overrightarrow{BO}.\overrightarrow{OM} = ar.cos\varphi$$

$$r_1^2 = a^2 + r^2 - 2ar.cos\varphi$$

$$r_2^2 = a^2 + r^2 + 2ar.cos\varphi$$

$$r_1^2 = r^2\left(1 + \frac{a^2}{r^2} - \frac{2a}{\mathrm{r}}.cos\varphi\right)$$

$$r_2^2 = r^2\left(1 + \frac{a^2}{r^2} + \frac{2a}{\mathrm{r}}.cos\varphi\right)$$

$$d \ll r \rightarrow a \ll r \rightarrow \frac{a^2}{r^2} \approx 0$$

$$\varepsilon = \frac{2a}{r}.cos\varphi$$

$$r_1^2 = r^2(1-\varepsilon) \rightarrow \frac{1}{r_1} = \frac{1}{r}(1-\varepsilon)^{-1/2}$$

$$r_2^2 = r^2(1+\varepsilon) \rightarrow \frac{1}{r_2} = \frac{1}{r}(1+\varepsilon)^{-1/2}$$

$$(1+\varepsilon)^n = 1 + \frac{n\varepsilon}{1!} + \frac{n(n-1)\varepsilon^2}{2!} + \cdots$$

$$\frac{1}{r_1} = \frac{1}{r}\left(1+\frac{1}{2}\varepsilon\right) \quad , \quad \frac{1}{r_2} = \frac{1}{r}\left(1-\frac{1}{2}\varepsilon\right)$$

$$\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} = \frac{\varepsilon}{r} = \frac{2a}{r^2}.cos\varphi$$

$$\boxed{\boldsymbol{V = -2k\frac{qa}{r^2}.cos\varphi}}$$

On définit le moment dipôlaire du doublet de charges, le produit de la charge positive q par le vecteur $\overrightarrow{AB}$ joignant la charge négative à la charge positive, soit :

$$\vec{p} = q.\vec{d}$$

$$p = 2a.q$$

On obtient :

$$\boxed{\boldsymbol{V = -\frac{p}{4\pi\varepsilon_0 r^2}.cos\varphi}}$$

b) Calcul de *E*

$$\vec{E} = -\overrightarrow{grad(V)}$$

$$\vec{E} = -\left(\frac{\partial V}{\partial r}.\vec{u}_r + \frac{1}{r}.\frac{\partial V}{\partial \varphi}.\vec{u}_\varphi\right)$$

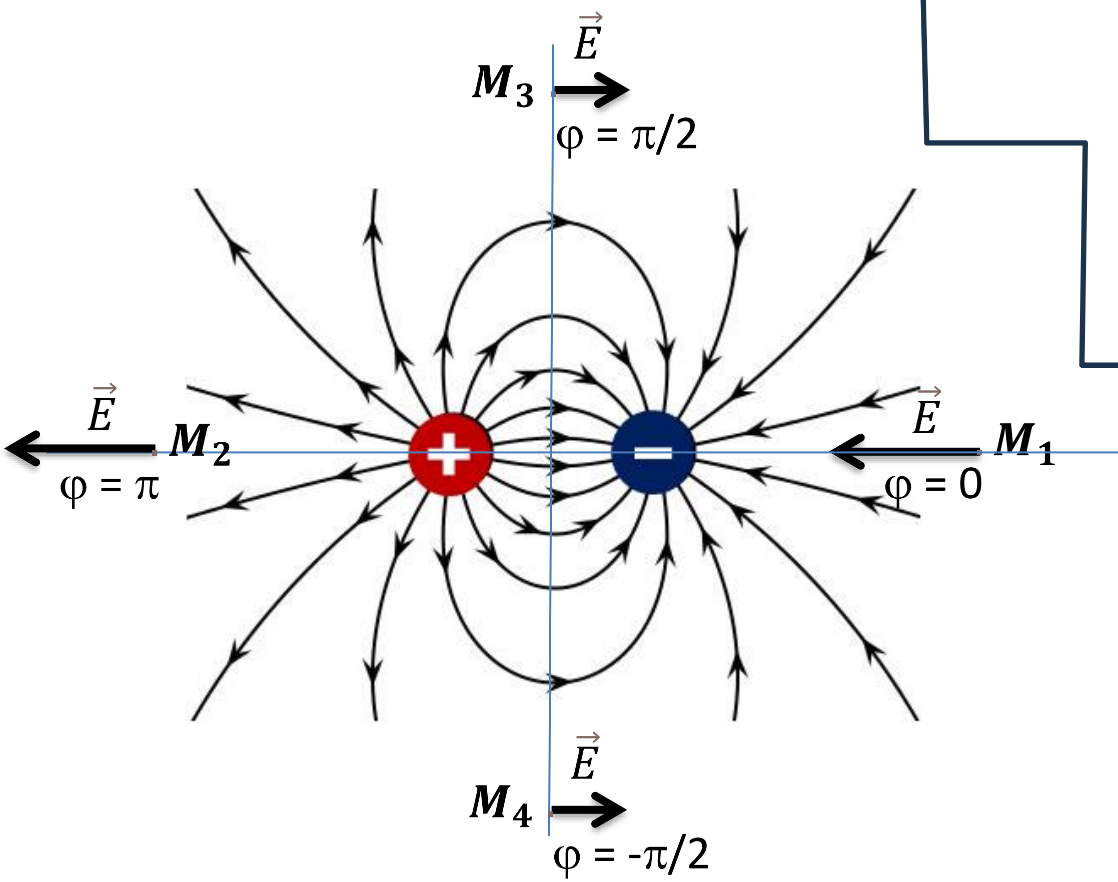
$$\frac{\partial V}{\partial r} = \frac{2p}{4\pi\varepsilon_0 r^3}.cos\varphi$$

$$\frac{\partial V}{\partial \varphi} = \frac{2p}{4\pi\varepsilon_0 r^2}.sin\varphi$$

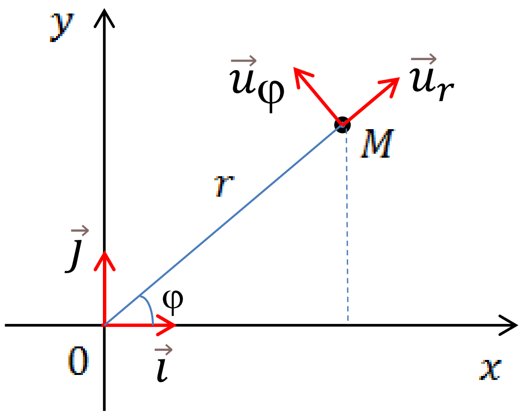
$$\vec{E} = -\frac{p}{4\pi\varepsilon_0 r^3}\left(2cos\varphi.\vec{u}_r + sin\varphi.\vec{u}_\varphi\right)$$

$$\boxed{E = \left\|\vec{E}\right\| = \frac{p}{4\pi\varepsilon_0 r^3}\sqrt{3cos^2\varphi + 1}}$$

Cas particuliers : positions de Gauss



$$\vec{E} = -\frac{p}{4\pi\varepsilon_0 r^3}\left(2cos\varphi.\vec{u}_r + sin\varphi.\vec{u}_\varphi\right)$$



$$\vec{u}_r = cos\varphi\,\vec{\imath} + sin\varphi\,\vec{\jmath}$$

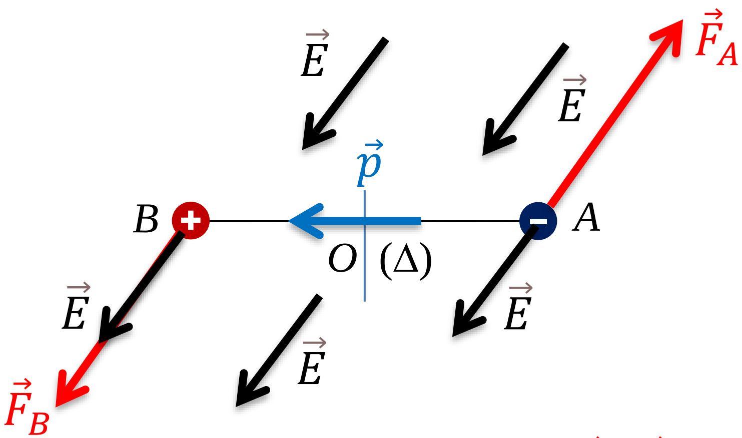
$$\vec{u}_\varphi = -sin\varphi\,\vec{\imath} + cos\varphi\,\vec{\jmath}$$

On se servira de ces calculs dans la communication des cellules ou encore dans le fonctionnement d'un électrocardiogramme (ECG).

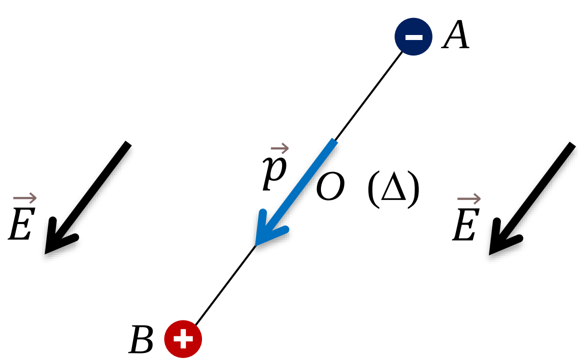
$$\vec{E} = -\frac{p}{4\pi\varepsilon_0 r^3}\left[(3cos\varphi^2 - 1)\vec{\imath} + 3cos\varphi sin\varphi.\vec{\jmath}\right]$$

c) Effet du champ électrique sur un dipôle électrique

Soit un dipôle $\vec{p}$ placé dans un champ électrique $\vec{E}$ uniforme.



Le couple $(\vec{F}_A, \vec{F}_B)$ fera tourner $\vec{p}$ …

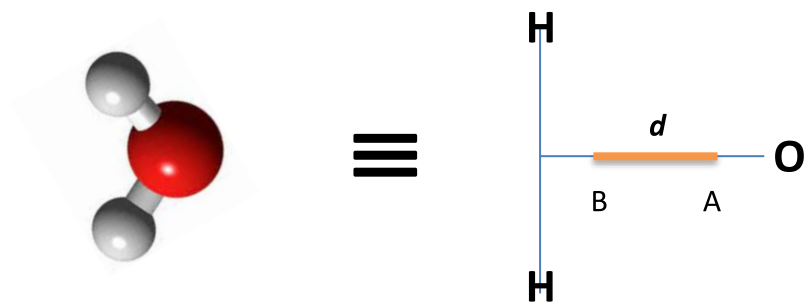


L'énergie potentielle du à $\vec{E}$ est défini par :

$$\boxed{E_p = -\vec{p}.\vec{E}}$$

Exemple :

Le dipôle électrique associé à la molécule d'eau est :



Dans la molécule d'H2O, il y a 10 électrons dans le centre de gravité est A et 10 protons en B :

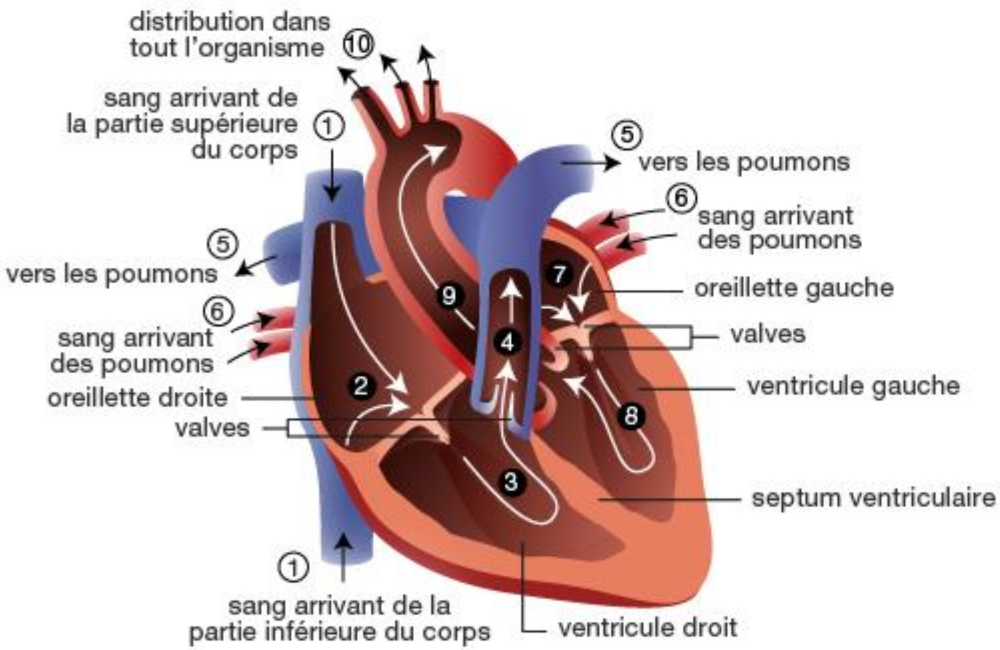
$$q_e = -10\, e \quad , \quad q_p = +10\, e$$

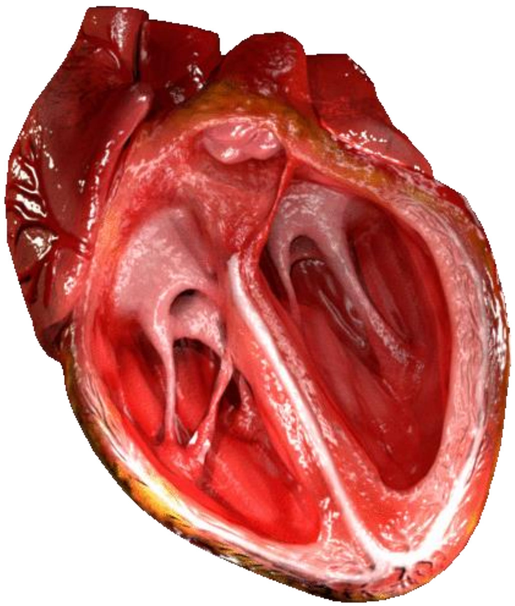
Sachant que : $p = 6.2 \times 10^{-30} C.m$

Alors :

$$\boxed{d = \frac{p}{q_p} = 0.038\ \text{Å}}$$

Cœur - Circulation du sang

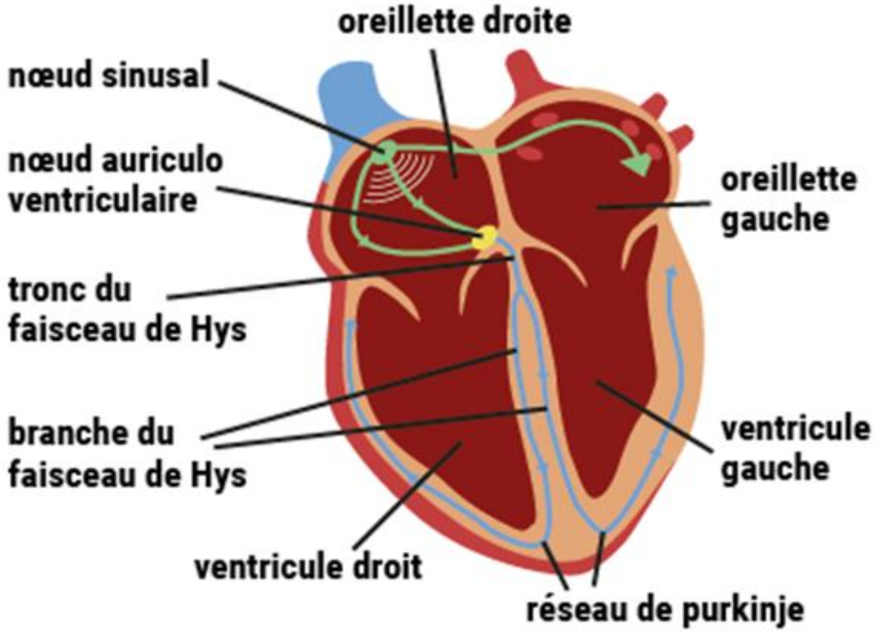


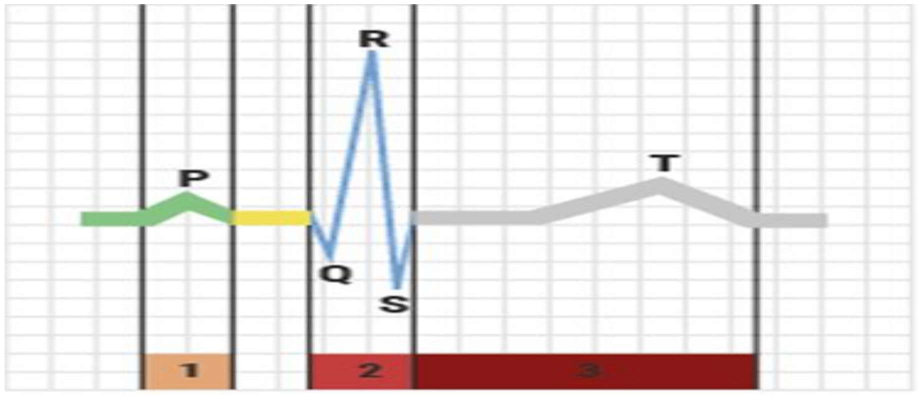


Le sang désoxygéné arrivant de toutes les parties du corps (1) pénètre dans l'oreillette droite (2) qui se contracte et éjecte le sang dans le ventricule droit (3). La valve située entre ces deux compartiments se ferme. Le ventricule droit se contracte et propulse le sang dans le tronc pulmonaire (4). La valve située à la base du tronc pulmonaire se ferme. Le sang est envoyé vers les poumons (5) où il s'enrichit en oxygène.

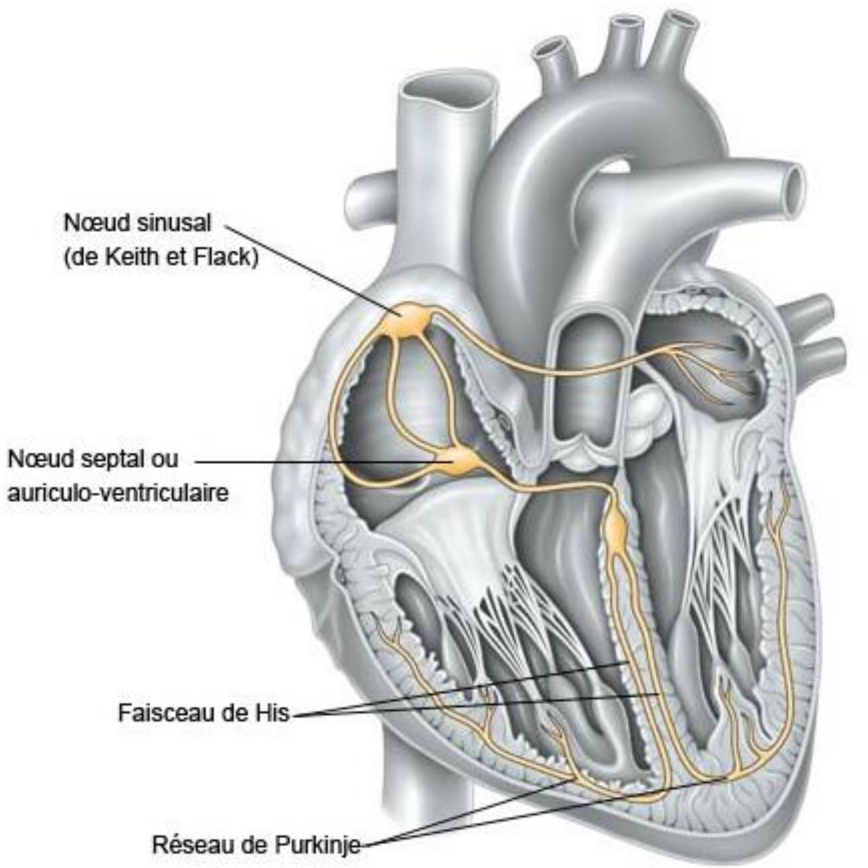
Le sang oxygéné arrivant des poumons (6) est recueilli par l'oreillette gauche (7) qui se contracte et expulse le sang dans le ventricule gauche (8). La valve située entre ces deux compartiments se ferme. Le ventricule gauche se contracte et propulse le sang dans l'aorte (9). La valve située au départ de l'aorte se ferme. Le sang est distribué dans tout l'organisme (10).

Cœur – Activité électrique





1 contraction des oreillettes
2 contraction des ventricules
3 repolarisation des ventricules

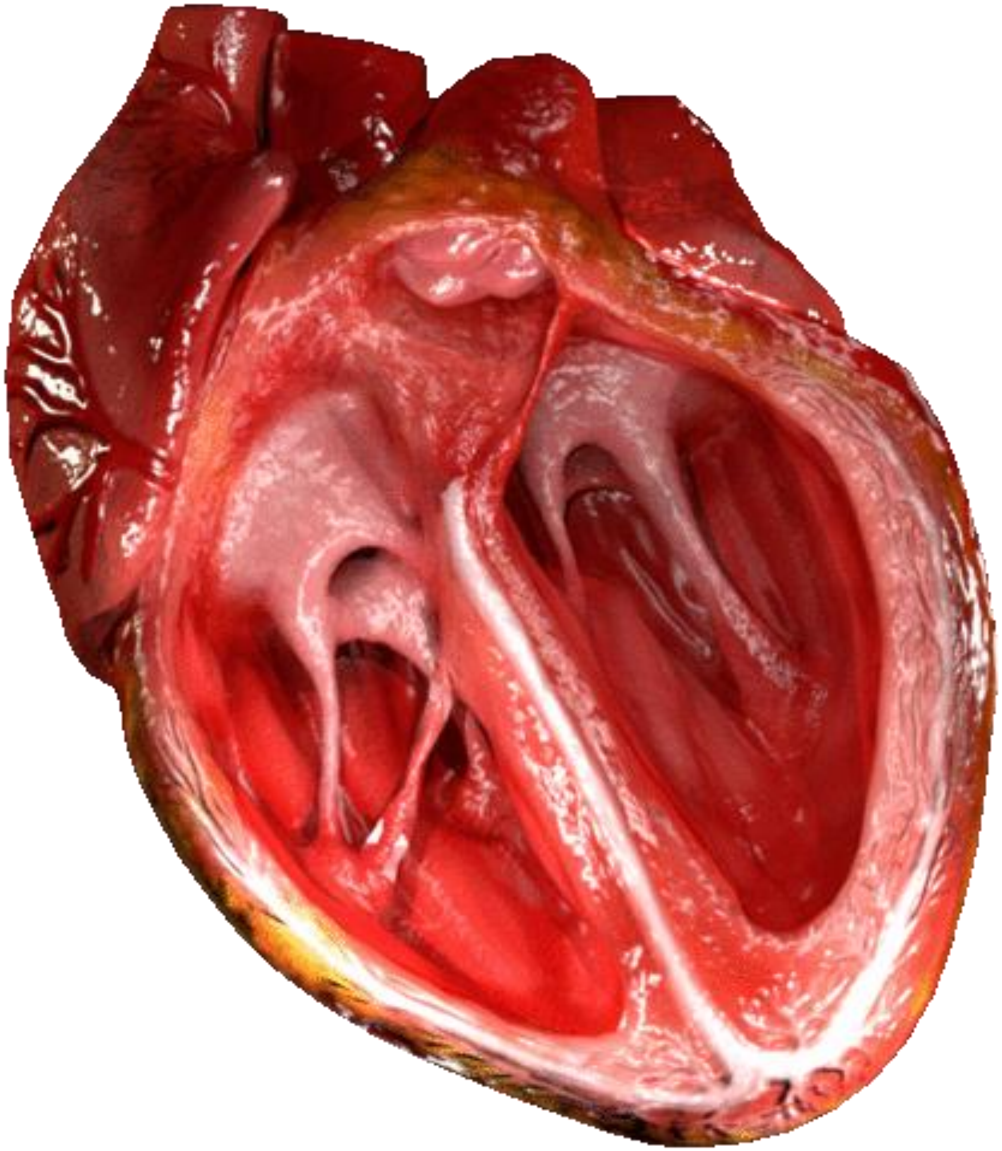


Application

L’action d’un champ externe sur un dipôle a pour effet la rotation et l’alignement de celui-ci dans l’axe du champ. (ex : fibrillation ventriculaire)

La fibrillation ventriclaire est l'arythmie cardiaque la plus grave. Les ventricules du cœur n'arrivent plus à se contracter, les pulsations sont très rapides et totalement asynchrones. Le flux sanguin s'arrête alors complètement et le patient fait un arrêt cardiaque.

Le traitement de la fibrillation ventriculaire est la défibrillation, la plus rapide possible, par un choc électrique. Celui-ci peut être délivré par les secours, par les personnes en présence si un défibrillateur semi-automatique est disponible.



Merci de votre attention…

Ambre

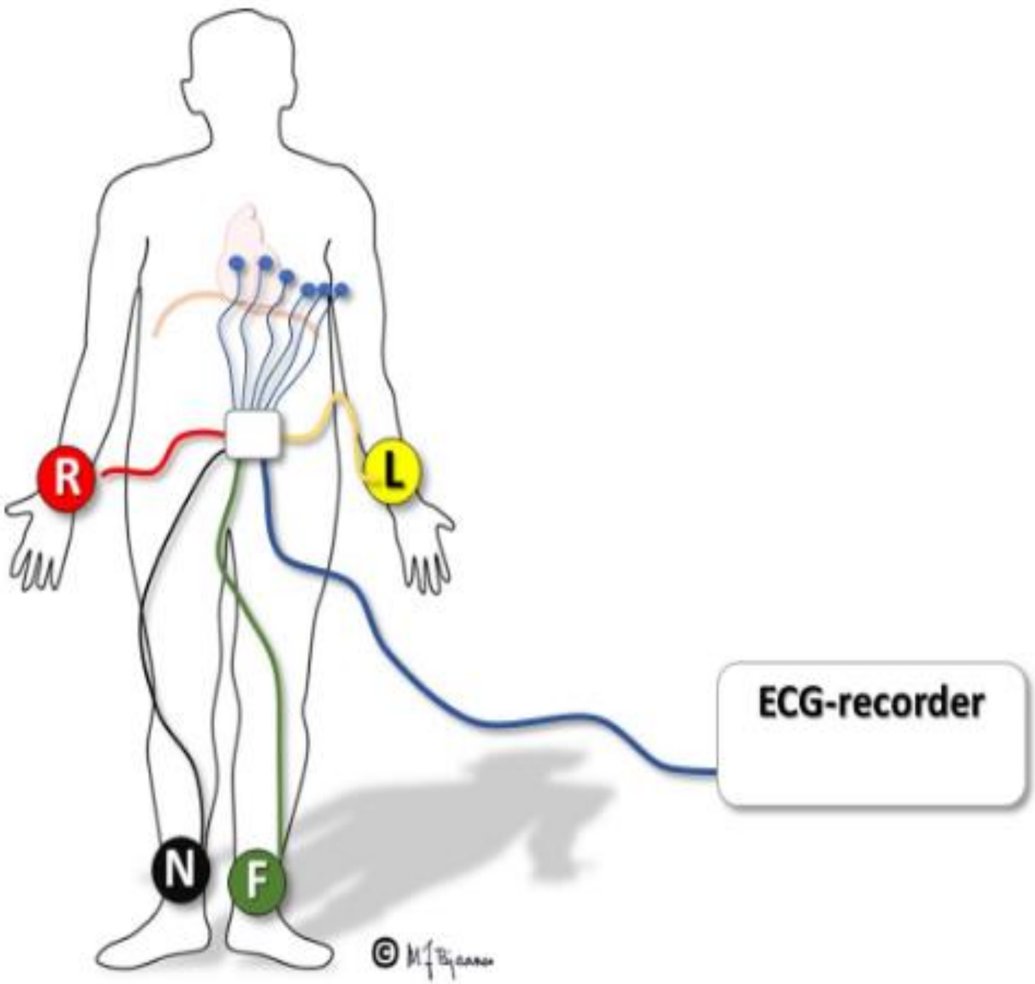
1. Electrostatique

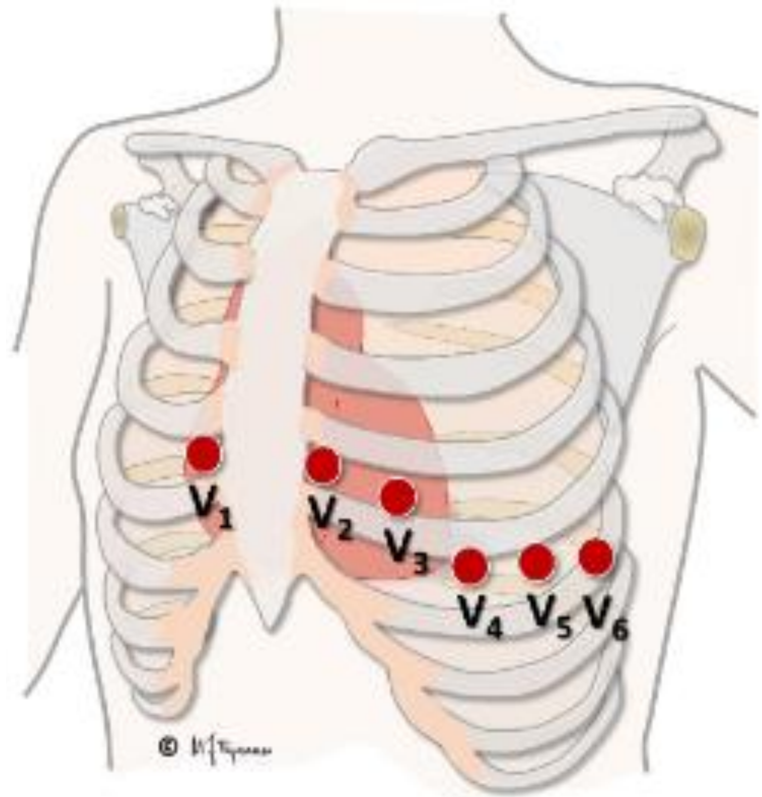
PVC (polyvinyl chloride)

Ebonite



1. Electrostatique





1. Electrostatique