

Première Spécialité Physique-Chimie	Thème : Mouvements et interactions	M GINEYS M / M.KUNST-MEDICA	
<u>Chapitre 3 : Interactions, forces et champs</u>		Cours livre p 178 à 179	

Objectifs et trame du chapitre

I. Charges électriques et électrisation

Activité expérimentale n°3.1 : Thalès, un précurseur.

Capacités visées :

- Interpréter des expériences mettant en jeu l'interaction électrostatique.
- Illustrer l'interaction électrostatique.

Exercices d'application à faire après l'activité : 9 p 185

II. Force électrostatique et force gravitationnelle

Activité documentaire n°3.2 : Deux interactions fondamentales.

Capacités visées :

- Utiliser la loi de Coulomb.
- Citer les analogies entre la loi de Coulomb et la loi d'interaction gravitationnelle.

Exercices d'application à faire après l'activité : 3-4-5-6-7-8-10 p 185-186

III. Champ électrostatique et champ gravitationnel

Activité documentaire n°3.3 : Force et champs

Capacités visées :

- Utiliser les expressions vectorielles :
 - de la force de gravitation et du champ de gravitation ;
 - de la force électrostatique et du champ électrostatique

Activité expérimentale n°3.4 : Fonctionnement d'un écran tactile

Capacités visées :

- Caractériser localement une ligne de champ électrostatique ou de champ de gravitation.
- Cartographier un champ électrostatique.

Exercices d'application à faire après l'activité : 11-12-13-14-15-16 p 185-186

Bilan des activités :

Vidéo cours : Cartographier un champ.

<https://youtu.be/Bdqzd7YfTaA>



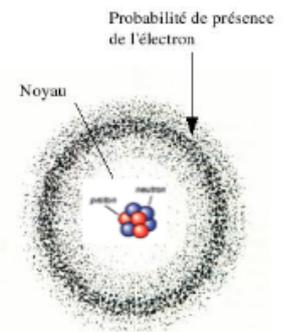
I Charge électrique et électrisation

1) La charge électrique

Rappel : Un atome est constitué d'un noyau autour duquel gravitent un certain nombre d'électrons.

Le noyau est constitué de particules élémentaires appelées nucléons (du latin nucleus : noyau). Il en existe deux types : les protons et les neutrons.

La matière est électriquement neutre. Cependant, elle est constituée de particules dont certaines sont électriquement chargées : des protons dans le noyau des atomes et des électrons autour du noyau.



La charge électrique se note « q » et se mesure en coulomb (symbole : C). La plus petite charge positive existante est appelée charge élémentaire. Elle est notée « e » et vaut $e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$.

- ✓ Les protons sont chargés positivement. La charge électrique de chaque proton est égale à la charge élémentaire : $q_{\text{proton}} = +e = +1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$.
- ✓ Les neutrons, comme leur nom l'indique, sont neutres. Ils ne sont pas chargés. La charge électrique de chaque neutron vaut donc 0 C.
- ✓ Les électrons sont chargés négativement. La charge électrique de chaque électron est égale à l'opposé de la charge élémentaire : $q_{\text{électron}} = -e = -1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$.

La charge électrique q de tout noyau atomique, ion ou objet chargé est un multiple de la charge élémentaire : $q = n \times e$ avec n : nombre entier

Exemple : le noyau de l'atome de potassium possède 19 protons. Chaque proton a une charge de $1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$. La charge totale du **noyau** de l'atome de potassium vaut donc : $q = 19 \times 1,6 \times 10^{-19} = 3,0 \times 10^{-18} \text{ C}$.

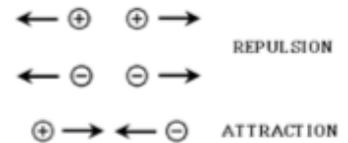
2) Electrification

Les phénomènes d'électrification sont fréquents dans la vie de tous les jours. Par exemple, quand on enlève un pull, les cheveux s'électrifient et sont attirés par la brosse. Les cheveux et la brosse sont en interaction électrostatique.

Selon les cas et les matières mises en jeu, on peut observer une attraction ou une répulsion.



Ces attractions et répulsions s'expliquent par l'existence de charges positives et négatives. En effet, des charges de même signe se repoussent, alors que des charges de signes opposés s'attirent.

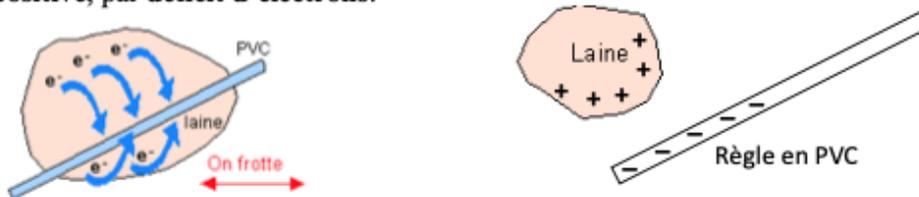


Il existe trois manières d'électriser un objet :

- **Electrisation par frottement**

Lors du frottement de la laine sur une règle en plastique, la laine donne certains de ses électrons à la règle. On dit aussi que la règle arrache certains électrons à la laine.

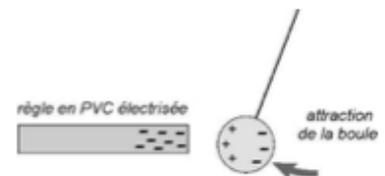
La règle devient alors électriquement **négative**, par un **excès d'électrons**. La laine devient quant à elle électriquement **positive**, par **déficit d'électrons**.



Lors d'une **électrisation par frottement**, il y a transfert d'électrons entre un matériau donneur et un matériau receveur.

- **Electrisation par influence**

On électrise une règle en plastique en la frottant avec de la laine. On approche cette règle chargée négativement d'un pendule conducteur. Les électrons du pendule sont repoussés le plus loin possible de la règle, il devient donc chargé positivement du côté de la règle et négativement de l'autre côté.

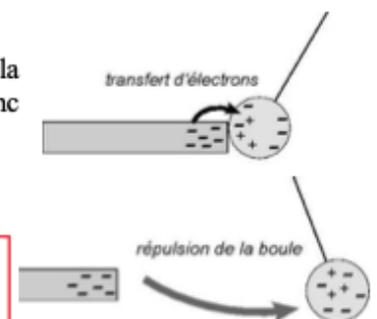


Lors d'une **électrisation par influence**, la répartition des charges d'un matériau conducteur est modifiée à l'approche d'un objet chargé.

- **Electrisation par contact**

Un pendule est attiré une règle chargée négativement. Si le pendule **touche** la règle, celle-ci transfère ses électrons excédentaires au pendule. Ce dernier va donc se charger négativement après le contact.

Si l'on approche de nouveau une règle chargée négativement, celle-ci va donc repousser le pendule, chargé négativement aussi.



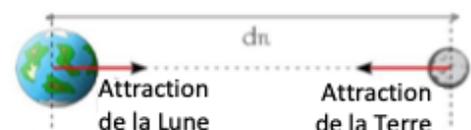
Lors d'une **électrisation par contact**, un objet chargé mis en contact avec un autre objet, lui transfère directement (sans frottement) une partie de ses électrons.

II Force électrostatique et force gravitationnelle

1) Interaction et force (Rappel de Seconde)

Si deux objets A et B agissent de manière réciproque l'un sur l'autre (A exerce une action sur B et B exerce une action sur A), on dit qu'ils sont en **interaction**.

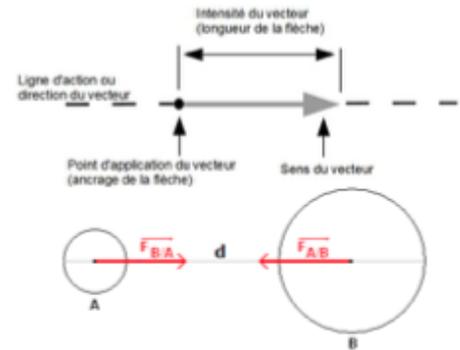
Exemple : La Terre attire la Lune mais la Lune attire également la Terre. Elles sont en interaction gravitationnelle.



Chaque action est modélisée par une force qui est elle-même représentée par un vecteur.

Un vecteur possède quatre caractéristiques :

- un point d'application,
- une direction (ou droite d'action),
- un sens,
- une intensité, appelée aussi norme (longueur de la flèche).



La force exercée par A sur B s'applique sur le corps B et se note $\vec{F}_{A/B}$.

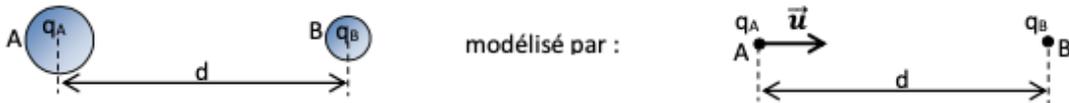
La force exercée par B sur A s'applique sur le corps A et se note $\vec{F}_{B/A}$.

2) La force électrostatique : la loi de Coulomb

Tous les corps possédant une charge électrique s'attirent ou se repoussent, de manière réciproque. La force modélisant ces actions est appelée **force électrostatique**. Son expression a été établie en 1785 par le physicien français Charles-Augustin Coulomb. Cette force est également appelée « **loi de Coulomb** ».

Soient deux corps A et B portant les charges électriques respectives q_A et q_B , séparés par la distance d . On les modélise par des points.

On note \vec{u} le vecteur unitaire dirigé de A vers B (sa « longueur » vaut 1 cm ou 1 carreau).



La force électrostatique exercée par A sur B est donnée par : $\vec{F}_{A/B} = k \cdot \frac{q_A \cdot q_B}{d^2} \vec{u}$

Caractéristiques de cette force électrostatique :

- **Point d'application** : la force $\vec{F}_{A/B}$ s'applique en B (en son centre).
- **Direction** : la force $\vec{F}_{A/B}$ est placée sur la droite passant par A et B.
- **Sens** :

Si q_A et q_B sont de signes opposés, ils s'attirent. La force $\vec{F}_{A/B}$ est donc dirigée vers A, dans le sens opposé au vecteur unitaire \vec{u} .

En effet, si q_A et q_B sont de signes opposés, alors le produit « $q_A \times q_B$ » est négatif.

Si q_A et q_B sont de même signe, ils se repoussent. La force $\vec{F}_{A/B}$ est donc dirigée vers « l'extérieur », dans le même sens que le vecteur unitaire \vec{u} .

En effet, si q_A et q_B sont de même signe, alors le produit « $q_A \times q_B$ » est positif.

- **Intensité (ou norme) de la force électrostatique** :

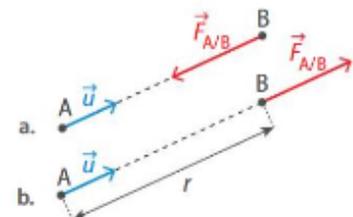
L'intensité de la force électrostatique, notée F_e , est proportionnelle aux charges électriques et à l'inverse du carré de la distance séparant les deux corps :

$$F_e = k \cdot \frac{|q_A \cdot q_B|}{d^2}$$

F_e : force électrostatique en newton (N)
 q_A et q_B : charges électriques en coulomb (C)
 d : distance en mètre (m)

k : **constante de Coulomb**

Dans le vide ou dans l'air : $k = 8,99 \times 10^9 \text{ N.m}^2.\text{C}^{-2}$



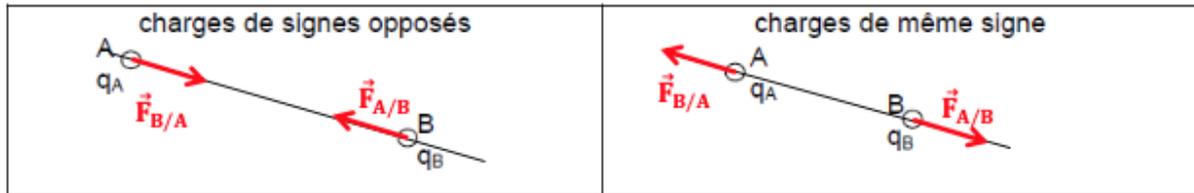
Doc. 4 Force électrostatique exercée par des charges de signes opposés (a) et par des charges de même signe (b).

Remarque n°1 : les deux traits verticaux dans la formule représentent la valeur absolue qui permet de retirer l'éventuel signe moins résultant du produit des charges électriques, une intensité de la force électrostatique étant toujours positive.

Remarque n°2 : k vaut plus précisément : $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$ avec ϵ_0 (epsilon zéro) : permittivité électrique du vide.

Remarque n°3 : A et B sont en interaction. B exerce donc une force sur A. D'après la 3^{ème} loi de Newton, cette force a la même intensité (même longueur de vecteur), mais elle est opposée à celle que A exerce sur B.

$$\vec{F}_{B/A} = -\vec{F}_{A/B}$$



Exercice :

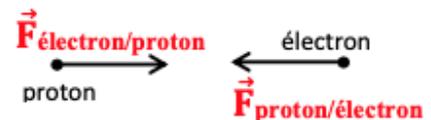
- 1) Calculer l'intensité de la force électrostatique exercée par le proton sur l'électron dans l'atome d'hydrogène.
Donnée : $d = 5,3 \times 10^{-11}$ m.

$$F_e = k \cdot \frac{|q_e \cdot q_p|}{d^2} = 8,99 \times 10^9 \times \frac{|-1,6 \times 10^{-19} \times 1,6 \times 10^{-19}|}{(5,3 \times 10^{-11})^2} = 8,2 \times 10^{-8} \text{ N}$$

- 2) Représenter la force $\vec{F}_{\text{proton}/\text{électron}}$ (1 cm représente $5,0 \times 10^{-8}$ N).

Le proton et l'électron sont de charges opposées. Ils s'attirent donc.

On représente un vecteur de $\frac{8,2 \times 10^{-8}}{5,0 \times 10^{-8}} = 1,6$ cm.



- 3) Représenter la force $\vec{F}_{\text{électron}/\text{proton}}$ avec la même échelle.

Cette force est opposée à la précédente, et de même intensité.

3) La force gravitationnelle

Tous les corps possédant une masse s'attirent de manière réciproque. C'est la gravitation. On parle d'interaction gravitationnelle.

La force modélisant cette action est appelée **force gravitationnelle**. Son expression a été établie en 1687 par le physicien anglais Isaac Newton.

Soient deux corps A et B ayant des masses respectives m_A et m_B , séparés par la distance d . On note \vec{u} le vecteur unitaire dirigé de A vers B.



$$\text{La force gravitationnelle exercée par A sur B est donnée par : } \vec{F}_{A/B} = -G \cdot \frac{m_A \cdot m_B}{d^2} \vec{u}$$

Caractéristiques de cette force gravitationnelle :

- **Point d'application :** la force $\vec{F}_{A/B}$ s'applique au centre de gravité de B.
- **Direction :** la force $\vec{F}_{A/B}$ est placée sur la droite passant par A et B.

- **Sens :**

La force gravitationnelle est attractive. La force $\vec{F}_{A/B}$ est donc **toujours** dirigée vers A, dans le sens opposé au vecteur unitaire \vec{u} . Cela explique le signe « - » présent dans la formule.

- **Intensité (ou norme) de la force gravitationnelle :**

L'intensité de la force gravitationnelle, notée F_g , est proportionnelle aux masses et à l'inverse du carré de la distance séparant les deux corps :

$$F_g = G \cdot \frac{m_A \cdot m_B}{d^2}$$

F_g : force gravitationnelle en newton (N)
 m_A et m_B : masses en kilogramme (kg)
 d : distance en mètre (m)

G : constante de gravitation universelle $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N.m}^2.\text{kg}^{-2}$

Remarque : A et B sont en interaction. B exerce donc une force sur A. D'après la 3^{ème} loi de Newton, cette force a la même intensité (même longueur de vecteur), mais elle est opposée à celle que A exerce sur B.

$$\vec{F}_{B/A} = -\vec{F}_{A/B}$$

Exercice :

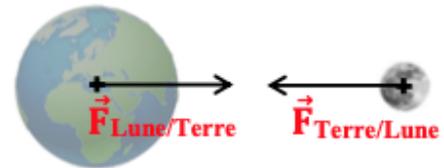
- 1) Calculer l'intensité de la force gravitationnelle exercée par la Terre sur la Lune.

Données : $m_T = 5,97 \times 10^{24} \text{ kg}$ $m_L = 7,35 \times 10^{22} \text{ kg}$ $d = 384\,000 \text{ km}$

$$F_g = G \cdot \frac{m_T \cdot m_L}{d^2} = 6,67 \times 10^{-11} \times \frac{5,97 \times 10^{24} \times 7,35 \times 10^{22}}{(3,84 \times 10^8)^2} = 1,98 \times 10^{20} \text{ N}$$

- 2) Représenter la force $\vec{F}_{\text{Terre/Lune}}$ (1 cm représente $1,0 \times 10^{20} \text{ N}$).

On représente un vecteur de $\frac{1,98 \times 10^{20}}{1,0 \times 10^{20}} = 2,0 \text{ cm}$.



- 3) Représenter la force $\vec{F}_{\text{Lune/Terre}}$ avec la même échelle.

Cette force est opposée à la précédente, et de même intensité.

III Champ gravitationnel et champ électrostatique

1) Qu'est-ce qu'un champ ?

Un **champ** associe à chaque point de l'espace une grandeur physique.

Il existe deux types de champs :

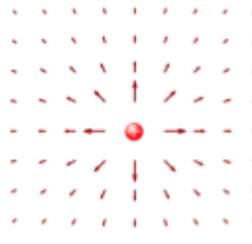
- les **champs scalaires**, dont la grandeur physique est scalaire (un nombre). On peut les représenter par un dégradé de couleur avec une légende.
Exemples : champ de pression, champ de température.
- les **champs vectoriels**, dont la grandeur physique est vectorielle (un vecteur)
Exemples : champ de vitesse du vent, champ gravitationnel, champ électrostatique.



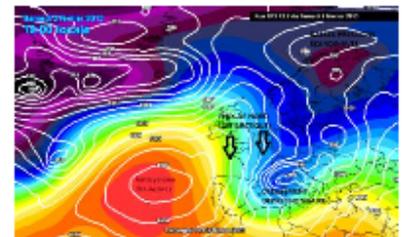
Champ de vitesse du vent
Champ vectoriel



Champ de température
Champ scalaire



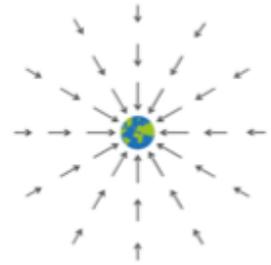
Champ électrostatique
Champ vectoriel



Champ de pression
Champ scalaire

2) Champ gravitationnel

Un corps ayant une masse attire les objets autour de lui. Il engendre autour de lui un champ vectoriel appelé **champ gravitationnel**, représenté par des vecteurs notés \vec{g} .
Un autre objet, de masse m , passant à proximité de ce corps sera attiré par lui car il subira une force gravitationnelle due à ce champ.



Force gravitationnelle exercée sur le corps de masse m , placé au point B, dans le champ gravitationnel \vec{g} :

$$\vec{F} = m \vec{g}$$

\vec{F} : force gravitationnelle en newton (N)
 m : masse en kilogramme (kg)
 \vec{g} : champ gravitationnel en newton par kilogramme (N.kg^{-1})

Si l'objet qui crée le champ est placé au point A et a une masse notée m_A , alors la force gravitationnelle a pour expression :

$$\vec{F} = -G \cdot \frac{m_A \cdot m}{d^2} \vec{u} = -G \cdot \frac{m_A}{d^2} m \vec{u} = m \vec{g} \quad \text{avec } d : \text{distance entre les deux corps (} d = AB \text{)}$$

On en déduit l'expression du champ gravitationnel \vec{g} créé en B par le corps de masse m_A :

$$\vec{g} = -G \cdot \frac{m_A}{d^2} \vec{u}$$

L'intensité de ce champ créée par un corps au point B ne dépend que de la masse du corps et de la distance :

$$g = G \cdot \frac{m_A}{d^2}$$

\vec{g} : champ gravitationnel en newton par kilogramme (N.kg^{-1})
 G : **constante de gravitation universelle** $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N.m}^2.\text{kg}^{-2}$
 m : masse en kilogramme (kg)
 d : distance en mètre (m)

Exercice : Calculer l'intensité du champ gravitationnel g créée par la Terre à sa surface :

Données : $m_T = 5,97 \times 10^{24} \text{ kg}$ $d = R_T = 6371 \text{ km}$

$$g = G \cdot \frac{m_T}{R_T^2} = 6,67 \times 10^{-11} \times \frac{5,97 \times 10^{24}}{(6,371 \times 10^6)^2} = 9,81 \text{ N.kg}^{-1}$$

Remarque : Le champ gravitationnel de la Terre à sa surface peut être assimilé au champ de pesanteur, si on néglige la rotation de la Terre sur elle-même. La force gravitationnelle est alors égale au poids.

3) Champ électrostatique

Un corps ayant une charge électrique attire ou repousse les objets portant une charge électrique. Il engendre autour de lui un champ vectoriel appelé **champ électrostatique**, représenté par des vecteurs notés \vec{E} .
Un autre objet, de charge électrique q , passant à proximité de ce corps subira une force électrostatique due à ce champ.

Force électrostatique exercée sur le corps de charge q , placé au point B, dans le champ électrostatique \vec{E} :

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

\vec{F} : force gravitationnelle en newton (N)
 q : charge en coulomb (C)
 \vec{E} : champ électrostatique en newton par coulomb (N.C^{-1})

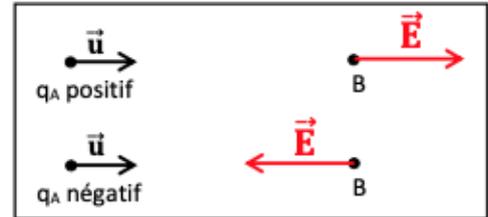
Si l'objet qui crée le champ est placé au point A et a une charge notée q_A , alors la force électrostatique a pour expression :

$$\vec{F} = k \cdot \frac{q_A \cdot q}{d^2} \vec{u} = k \cdot \frac{q_A}{d^2} q \vec{u} = q \vec{E} \quad \text{avec } d : \text{distance entre les deux corps (} d = AB \text{)}$$

On en déduit l'expression du champ électrostatique \vec{E} crée en B par le corps de charge q_A :

$$\vec{E} = k \cdot \frac{q_A}{d^2} \vec{u}$$

- Si q_A est positif, alors le champ \vec{E} est dans le même sens que \vec{u} . Le champ \vec{E} « fuit » les charges positives.
- Si q_A est négative, alors le champ \vec{E} va vers la charge q_A , dans le sens opposé à \vec{u} . Le champ \vec{E} « pointe vers » les charges négatives.



L'intensité de ce champ crée par un corps au point B ne dépend que de la charge du corps et de la distance :

$$E = k \cdot \frac{|q_A|}{d^2}$$

E : champ électrostatique en newton par coulomb ($N.C^{-1}$)
 k : **constante de Coulomb** $k = 8,99 \times 10^9 N.m^2.C^{-2}$
 q : charge en coulomb (C)
 d : distance en mètre (m)

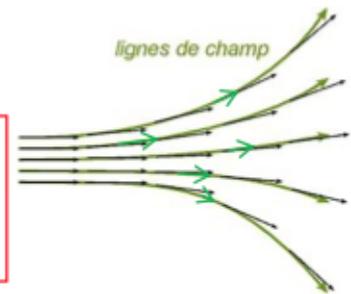
Exercice : Calculer l'intensité du champ électrostatique E crée par un électron, à une distance de $1,0 \mu m$ de lui :

$$E = k \cdot \frac{|q_{\text{électron}}|}{d^2} = 8,99 \times 10^9 \times \frac{|-1,6 \times 10^{-19}|}{(1,0 \times 10^{-6})^2} = 1,4 \times 10^3 N.C^{-1}$$

4) Lignes de champ

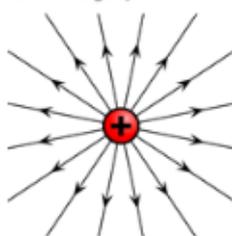
Afin de mieux visualiser un champ vectoriel, on trace les lignes de champ.

Les **lignes de champ** sont des courbes qui suivent les vecteurs en respectant leur direction : elles sont tangentes en tout point au vecteur du champ. On ajoute une flèche sur la courbe pour indiquer le sens du champ vectoriel.

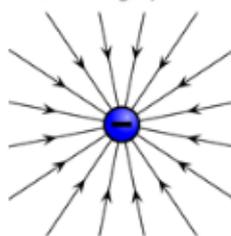


• Lignes de champ électrostatique

créées par un objet ayant une charge $q > 0$

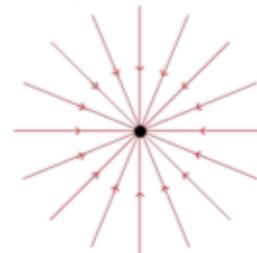


créées par un objet ayant une charge $q < 0$

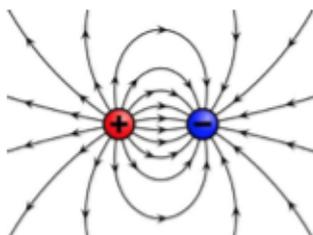


• Lignes de champ gravitationnel

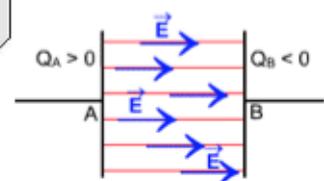
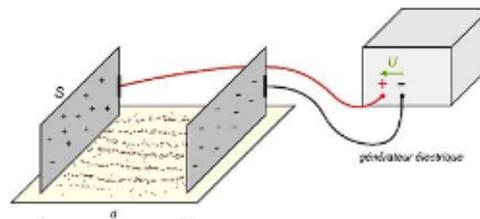
créées par un objet ayant une masse m



Plus les lignes de champ sont proches les unes des autres, plus le champ est intense dans la zone considérée.



Ligne de champ créées par deux charges opposées



Mise en évidence des lignes de champ électrostatique entre deux plaques métalliques. Les lignes de champ sont parallèles.

Des forces dans l'Univers

Force de gravitation

G en $N \cdot m^2 \cdot kg^{-2}$ m en kg
 $\vec{F}_{A/B} = -G \times \frac{m_A \times m_B}{d^2} \vec{u}_{A \rightarrow B}$
 Valeur en N d en m Vecteur unitaire orienté de A vers B

Valeurs des forces

- Inversement proportionnelles au carré de la distance d .
- Proportionnelles aux masses ou aux charges.

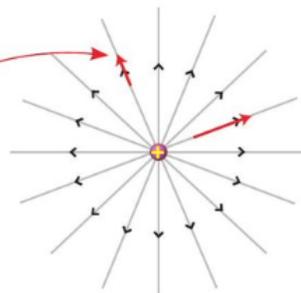
Force électrostatique

k en $N \cdot m^2 \cdot C^{-2}$ q en C
 $\vec{F}_{A/B} = k \times \frac{q_A \times q_B}{d^2} \vec{u}_{A \rightarrow B}$
 Valeur en N d en m Vecteur unitaire orienté de A vers B

A et B ont des charges de même signe.
 A et B ont des charges de signes opposés.

La notion de champ en physique

Un **champ** de gravitation ou électrostatique est dû à la masse ou à la charge électrique d'un corps source. En un point de l'espace environnant le corps source, le champ peut être représenté par un **vecteur**.



Une **ligne de champ** est tangente en chacun de ses points au vecteur champ et orientée dans le sens du champ.

Champ de gravitation

G en $N \cdot m^2 \cdot kg^{-2}$ m en kg
 $\vec{g} = -G \times \frac{m_A}{d^2} \vec{u}_{A \rightarrow B}$
 Valeur en $N \cdot kg^{-1}$ d en m

Direction : la droite (AB) passant par les centres du corps (A) source du champ étudié et du système (B) placé dans le champ.
Sens : orienté vers l'objet source (A).
Valeur : exprimée en $N \cdot kg^{-1}$ ou $m \cdot s^{-2}$.
 Force subie par un **système** placé dans le **champ** dû au **corps source** :

$$\vec{F}_g = m_B \vec{g}$$

Champ électrostatique

k en $N \cdot m^2 \cdot C^{-2}$ q en C
 $\vec{E} = k \times \frac{q_A}{d^2} \vec{u}_{A \rightarrow B}$
 Valeur en $N \cdot C^{-1}$ ou $V \cdot m^{-1}$ d en m

Direction : la droite (AB) passant par les centres du corps (A) source du champ étudié et du système (B) placé dans le champ.
Sens : orienté vers l'objet source (A) si sa charge est négative ; orienté depuis l'objet source (A), si sa charge est positive.
Valeur : exprimée en $N \cdot C^{-1}$ ou $V \cdot m^{-1}$.
 Force subie par un **système** placé dans le **champ** dû au **corps source** :

$$\vec{F}_e = q_B \vec{E}$$