

LFSM1105

Loi de Coulomb et champ électrique

Enseignant: **D. Lederer**



Année académique 2024-25

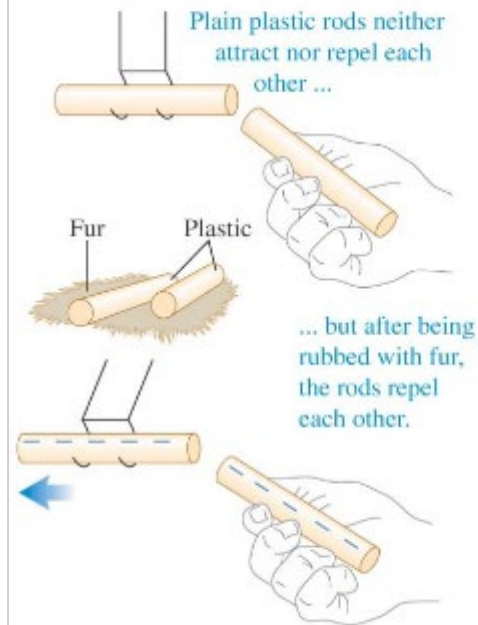
LFSM1105 - S4

Agenda Cours 3

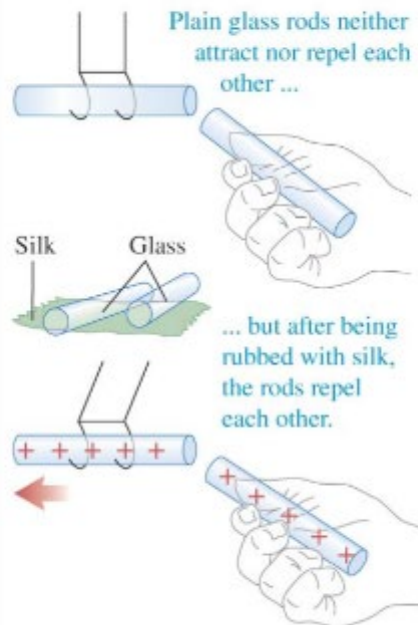
- 1. Charge électrique**
- 2. Isolants et conducteurs**
- 3. Force électrique – Loi de Coulomb**
- 4. Champ électrique**
- 5. Lignes de champ électrique**
- 6. Potentiel électrique**

Mise en évidence de la charge

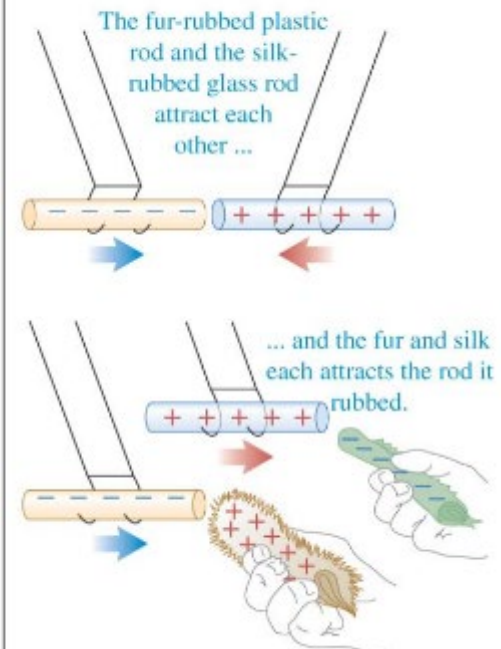
(a) Interaction between plastic rods rubbed on fur



(b) Interaction between glass rods rubbed on silk



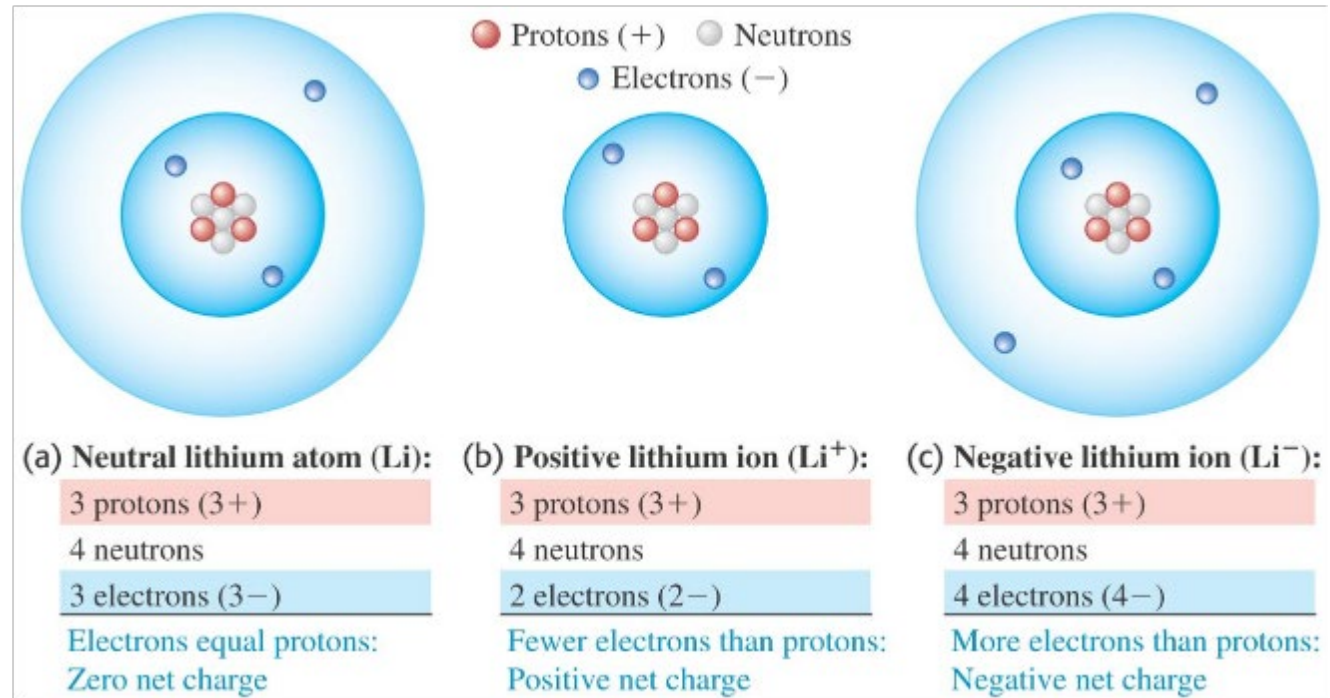
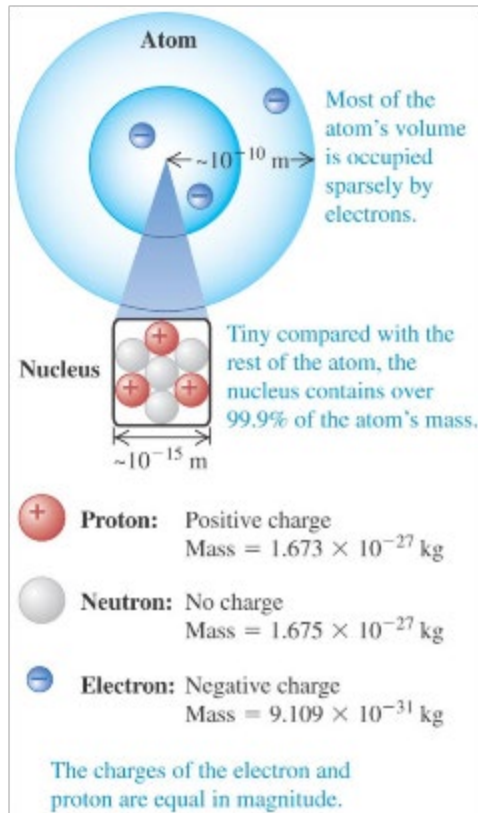
(c) Interaction between objects with opposite charges



❑ Les charges sont de deux types

❑ Des charges de même type se **repoussent**, des charges de types opposés **s'attirent**

Origine des charges dans la matière



PAR CONVENTION:

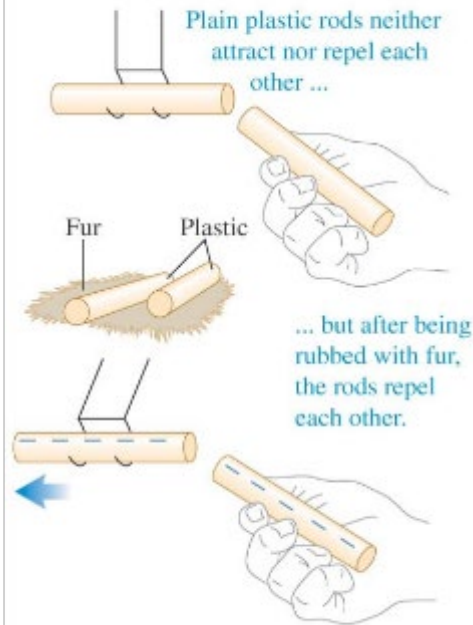
- ❑ Un **proton** a une charge **positive**
- ❑ Un **électron** a une charge **négative**

Caractéristiques de la charge

- ❑ La charge électrique est une **propriété** de la matière (tout comme la masse !).
- ❑ La charge électrique est quantifiée en **Coulombs [C]**.
- ❑ Les **amplitudes** des charges du proton et de l'électron sont identiques et valent: $e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$.
- ❑ Toute charge est un **multiple** entier (positif ou négatif) de e .
- ❑ **Conservation de la charge**: dans un système isolé, la somme algébrique des charges en présence reste constante.

Interprétation de l'expérience (1)

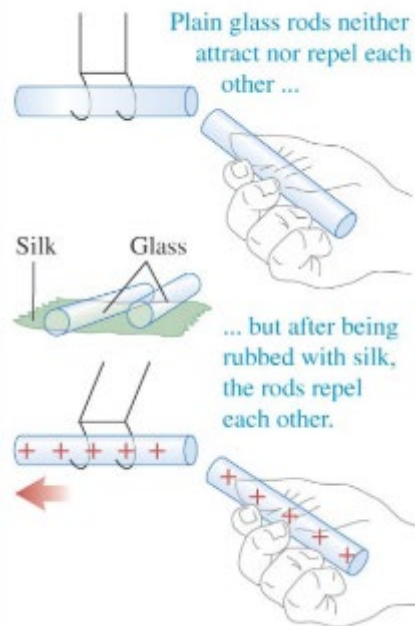
(a) Interaction between plastic rods rubbed on fur



- ❑ A cause du frottement, des électrons de la fourrure s'accrochent aux barreaux de plastique, qui deviennent **négativement** chargés.
- ❑ La charge acquise est de l'ordre du μC et est un **multiple** de e .

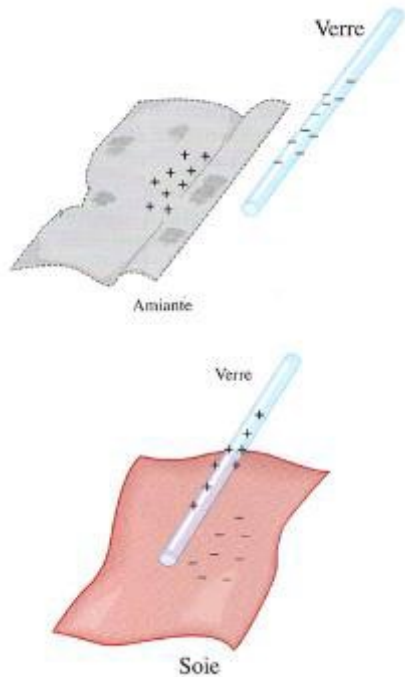
Interprétation de l'expérience (2)

(b) Interaction between glass rods rubbed on silk



- ❑ A cause du frottement, des électrons des barreaux de verre s'accrochent à la soie. Les barreaux de verre deviennent donc **positivement** chargés.
- ❑ La charge acquise est de l'ordre du μC et est un **multiple** de e .

Séquence triboélectrique



Amiante
Fourrure (lapin)
Verre
Laine
Quartz
Fourrure (chat)
Plomb
Soie
Peau humaine, aluminium
Coton
Ambre
Cuivre, laiton
Caoutchouc
Soufre
Celluloïd
Caoutchouc des Indes

Affinité
croissante pour
les électrons

- ❑ Lorsque deux substances de la colonne viennent au contact, celle qui est écrite au-dessus se charge positivement. Celle, quelle qu'elle soit, qui vient en-dessous se charge négativement.
- ❑ La force, la durée, la vitesse avec laquelle on frotte les matériaux ne changent en rien la séquence triboélectrique.

Autres expériences d'électrostatique



$\sim \mu\text{C}$

$$1\mu\text{C} = 10^{-6}\text{C}$$



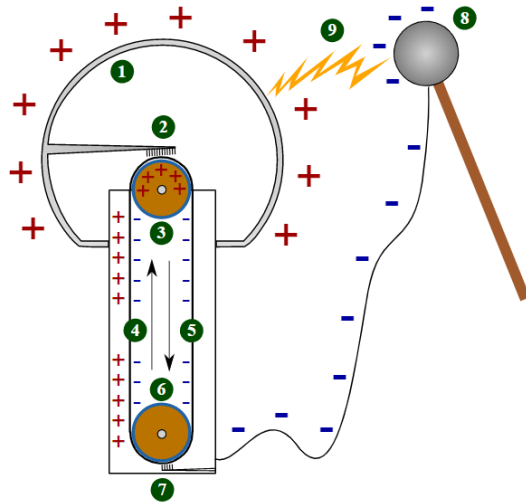
$\sim \mu\text{C}$



$\sim \text{C}$

Générateur de Van de Graaf

Générateur de Van de Graaf



- 1. hollow metal sphere
- 2. upper electrode
- 3. upper roller (for example an acrylic glass)
- 4. side of the belt with positive charges
- 5. opposite side of belt, with negative charges
- 6. lower roller (metal)
- 7. lower electrode (ground)
- 8. spherical device with negative charges
- 9. spark produced by the difference of potentials

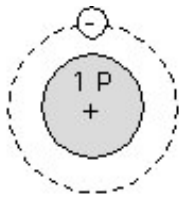


https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/ae/Van_de_Graaff_Generator.svg

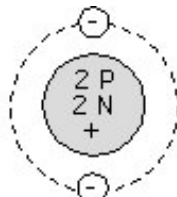
Agenda Cours 3

1. Charge électrique
- 2. Isolants et conducteurs**
3. Force électrique – Loi de Coulomb
4. Champ électrique
5. Calculs de champ électrique
6. Lignes de champ électrique

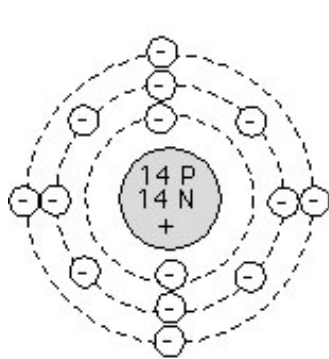
Rappel sur la structure de l'atome



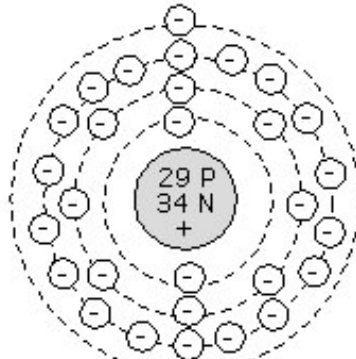
Hydrogène (1 électron)



Hélium (2 électrons)



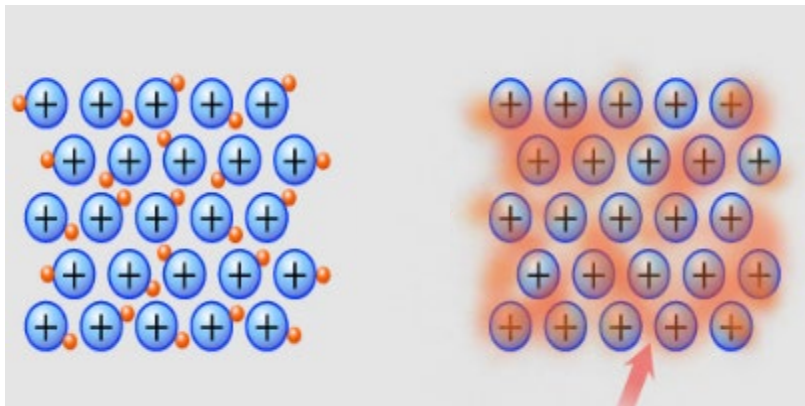
Silice (14 électrons)



Cuivre (29 électrons)

- ❑ Les atomes d'éléments différents sont composés d'un nombre **différent** d'électrons et de protons.
- ❑ Les électrons se placent sur des orbites autour du noyau en respectant des **règles précises**.
- ❑ Les électrons situés sur les orbites externes sont appelés **électrons de valence**; ils possèdent le plus d'énergie et sont **moins** attirés par le noyau.

Conducteurs et isolants



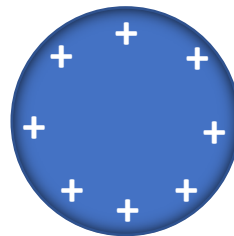
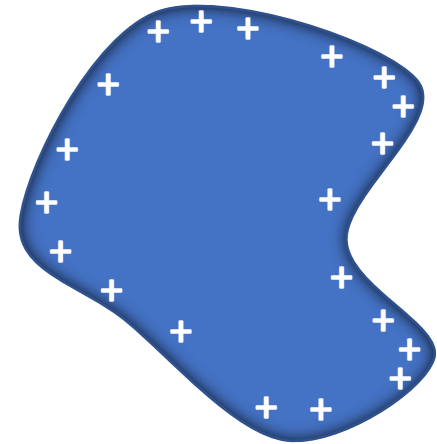
Isolant

conducteur

- ❑ Dans un métal, les électrons de valence sont **très faiblement liés** à leur atome. Le métal contient ainsi un grand nombre **d'électrons libres**.
- ❑ Ces électrons libres forment un **gaz** qui peut se **déplacer** au milieu des ions positifs immobiles.
- ❑ Le matériau est dit « **conducteur** ».
- ❑ Par contre, les atomes des **isolants retiennent fortement** leurs propres électrons qui sont donc beaucoup moins libres.
- ❑ Le matériau est dit « **non conducteur** ».

Caractéristiques d'un conducteur chargé

- ❑ Les charges se **repoussent** mutuellement et se répartissent sur la **surface extérieure du conducteur**, quelle que soit sa forme.
- ❑ Les charges se **concentrent dans les pointes** (« effet de pointe »).
- ❑ En raison de la **symétrie** du problème, les charges se répartissent **uniformément sur la surface** d'un conducteur **sphérique**.

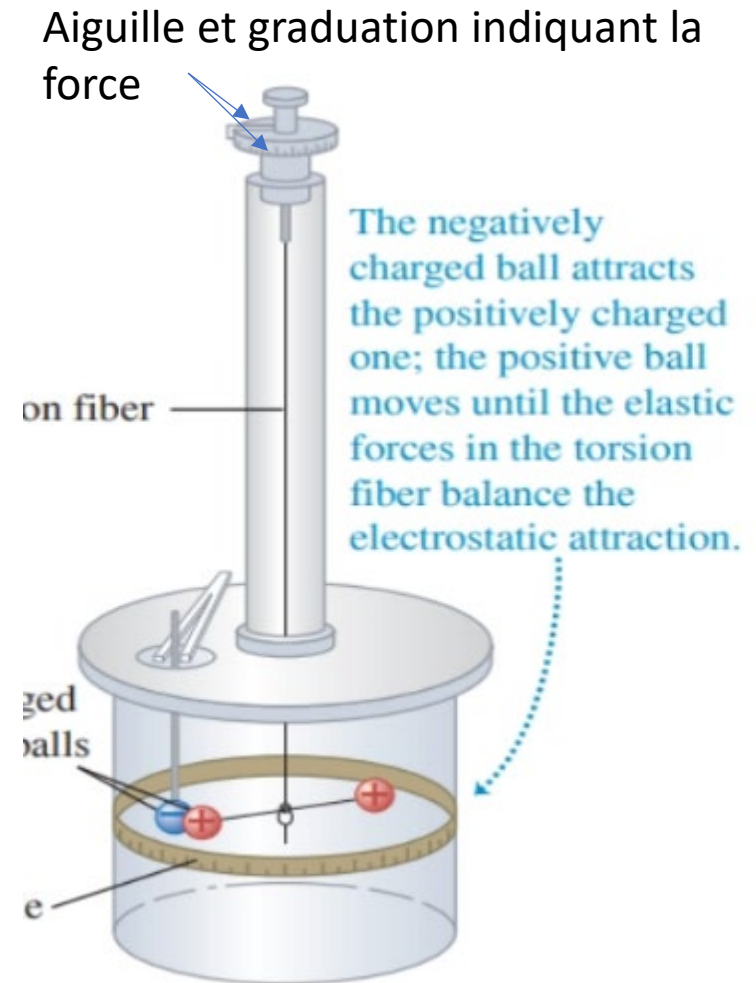


Agenda Cours 3

1. Charge électrique
2. Isolants et conducteurs
- 3. Force électrique – Loi de Coulomb**
4. Champ électrique
5. Calculs de champ électrique
6. Lignes de champ électrique

Quantification de la force électrique

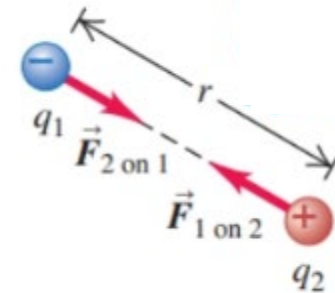
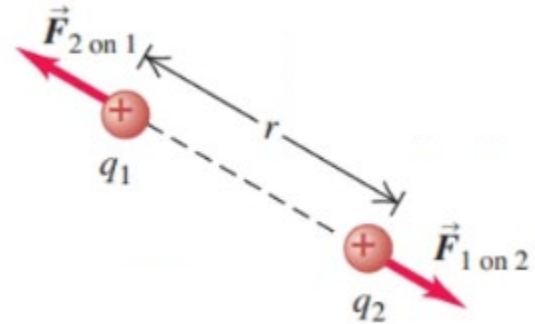
- ❑ Comment **quantifier** les interactions entre les charges ?
- ❑ Réponse donnée en 1784 par Charles Augustin de Coulomb en utilisant une **balance à torsion**
- ❑ *La force électrique est proportionnelle au produit des deux charges et inversement proportionnelle au carré de la distance entre les deux charges.*



Loi de Coulomb

$$F = k \left| \frac{q_1 q_2}{r^2} \right|$$

- ❑ $k = 8,988 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$
- ❑ $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$ avec $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2/\text{Nm}^2$
- ❑ La force électrique est **orientée** selon la **droite** qui passe par les deux charges.
- ❑ Elle est **répulsive** (resp. **attractive**) si les deux charges sont de **mêmes** signes (resp. signes **opposés**).
- ❑ En vertu de la **3^{ème} loi de Newton**, la force due à q_1 sur q_2 est l'opposée de la force due à q_2 sur q_1 .



$$\vec{F}_{1 \text{ on } 2} = -\vec{F}_{2 \text{ on } 1}$$

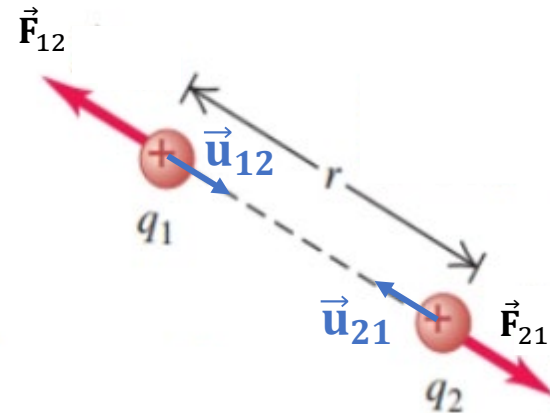
$$\vec{F}_{21} = -\vec{F}_{12}$$

Représentation vectorielle

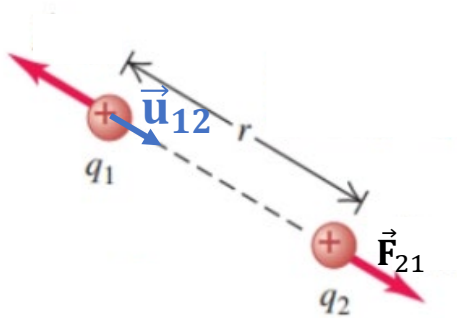
- ❑ La force électrostatique peut être représentée par un **vecteur**.
- ❑ Sa **norme** est donnée par la loi de Coulomb: $F_{12} = F_{21} = k \left| \frac{q_1 q_2}{r^2} \right|$
- ❑ Sous **forme vectorielle**, cette force s'écrit:

$$\vec{F}_{21} = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \vec{u}_{12}$$

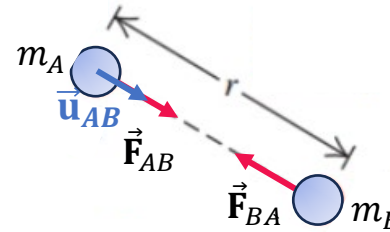
- ❑ **Note:** $\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21} = k \frac{q_1 q_2}{r^2} (-\vec{u}_{12}) = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \vec{u}_{21}$



Loi de Coulomb et loi de la gravitation universelle



$$\vec{F}_{21} = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \vec{u}_{12}$$



$$\vec{F}_{BA} = -G \frac{m_A m_B}{r^2} \vec{u}_{AB}$$

- ❑ Toutes deux sont valables pour des charges ou masses **ponctuelles**.
- ❑ Toutes deux agissent à **distance**.
- ❑ Même formalisme mathématique:
 - ❑ q_1, q_2 = **propriété** de la matière
 - ❑ m_A, m_B = **propriété** de la matière
 - ❑ **dépendance en $1/r^2$**

Différences entre les deux lois

❑ La force **électrique** est **répulsive** ou **attractive**, alors que la **force de gravitation** est nécessairement **attractive**.

❑ Les **ordres de grandeur** sont radicalement différents:

$$\square k = 8,988 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$$

$$\square G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$$

❑ Exemple: $m_A = m_B = 1 \text{ kg}, r = 1 \text{ m} \Rightarrow F_g = G \frac{m_A m_B}{r^2} \approx 6,7 \cdot 10^{-11} \text{ N}$

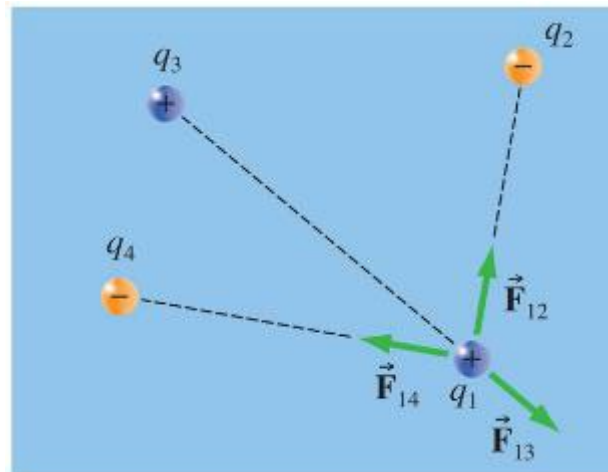
$$q_1 = q_2 = 1 \text{ C}, r = 1 \text{ m} \Rightarrow F_e = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \approx 9 \cdot 10^9 \text{ N} !!!$$

$$\text{Même si } q_1 = q_2 = 1 \mu\text{C} \quad F_e/F_g \approx 10^6 !!!$$

Principe de superposition

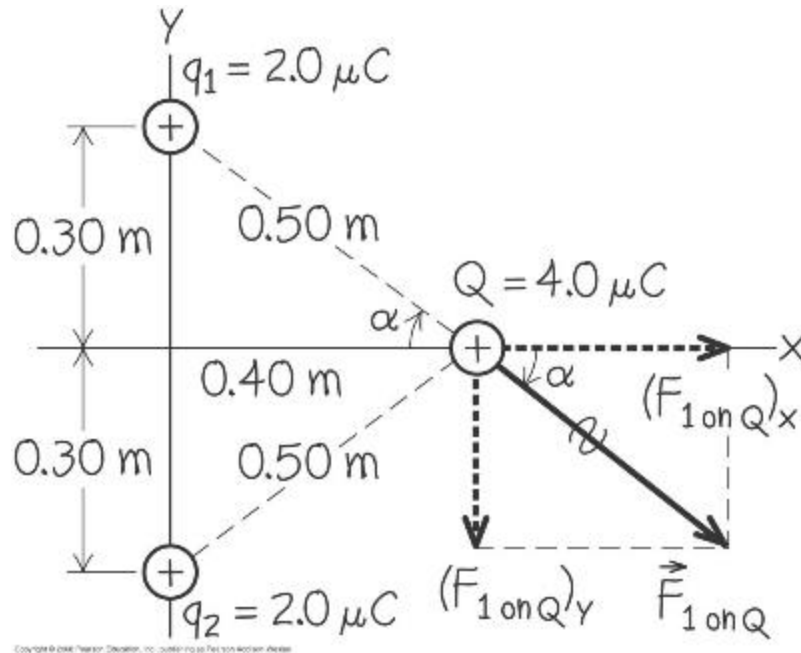
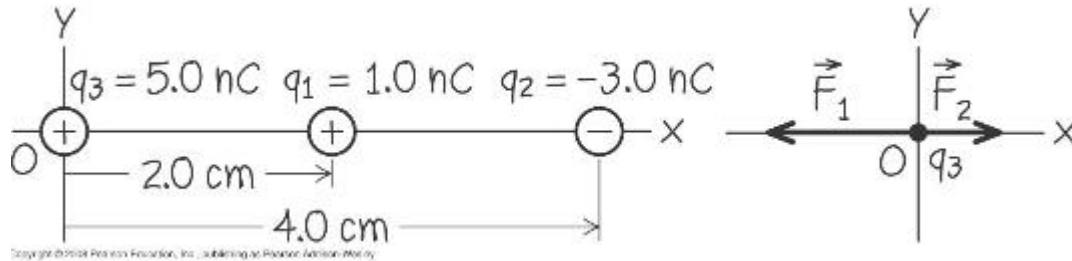
- ❑ L'expérience nous montre que si plusieurs charges sont présentes:
 - ❑ chacune des charges agit sur les **autres** charges,
 - ❑ et que la force **résultante** sur une charge est la **somme vectorielle** des forces exercées par les autres charges.
- ❑ On en déduit le **principe de superposition**: $\vec{F}_j = \sum_{i \neq j} \vec{F}_{ji}$

Exemple:



$$\vec{F}_1 = \vec{F}_{12} + \vec{F}_{13} + \vec{F}_{14}$$

Exemples à 3 charges



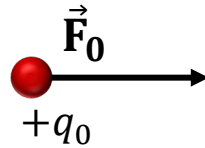
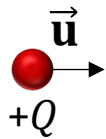
$$\begin{aligned}
 (F_1) &= 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{4 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 10^{-6}}{0.5^2} = 0.29 \text{ N} \\
 F_{12} &= 0.29 \cdot \cos \alpha \\
 &= 0.29 \cdot \frac{0.4}{0.5} = 0.23 \text{ N} \\
 F_{1y} &= -0.29 \sin \alpha = -0.17 \text{ N} \\
 &\quad \hookrightarrow \frac{0.3}{0.5} \\
 \Rightarrow \begin{cases} F_x = 2 \times 0.23 = 0.46 \text{ N} \\ F_y = -0.17 + 0.17 = 0 \end{cases}
 \end{aligned}$$

Agenda Cours 3

1. Charge électrique
2. Isolants et conducteurs
3. Force électrique – Loi de Coulomb
- 4. Champ électrique**
5. Calculs de champ électrique
6. Lignes de champ électrique

Champ électrique (1)

- Lorsque deux charges ponctuelles sont en présence, l'une “ressent” la présence de l'autre.

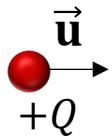


$$\vec{F}_0 = k \frac{q_0 Q}{r^2} \vec{u}$$

- Ceci signifie qu'une charge **modifie** les propriétés du **milieu** qui l'entoure.

Champ électrique (2)

1/ Retirons q_0 du point P



P

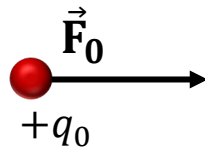
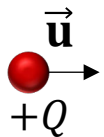
- La force qui s'applique sur q_0 est **proportionnelle** à q_0 .

$$\vec{F}_0 = k \frac{q_0 Q}{r^2} \vec{u} = q_0 \left(k \frac{Q}{r^2} \vec{u} \right)$$

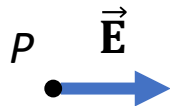
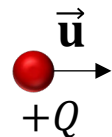
- Ce facteur de proportionnalité est par définition le **champ électrique**:

$$\vec{E} = k \frac{Q}{r^2} \vec{u} \quad \text{tel que} \quad \vec{F}_0 = q_0 \vec{E}$$

2/ Replaçons cette charge test en P

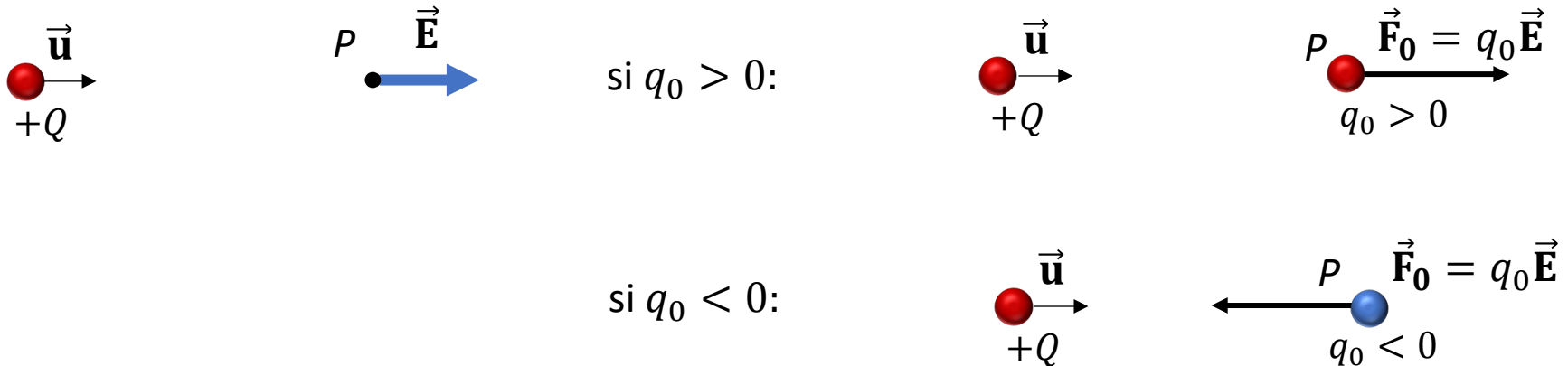


- Le champ $\vec{E}$ en P est **généré** par Q .



- Le champ électrique **ne** dépend **que** de la charge “**source**” (Il ne dépend pas de q_0).

Champ électrique (3)

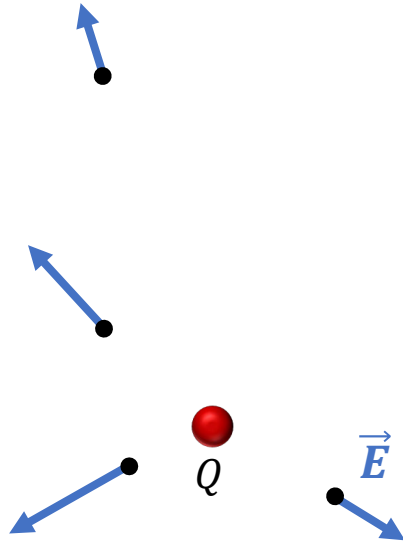


- ❑ Ne pas confondre **champ** électrique et **force** !
- ❑ Puisque $\vec{F}_0 = q_0 \vec{E}$, $\vec{F}_0$ et $\vec{E}$ sont de sens **opposés** si $q_0 < 0$.
- ❑ Toute charge génère un champ électrique, donc q_0 aussi ! :

The diagram shows a red sphere with charge $+q_0$ on the right, with a vector $\vec{u}_0$ pointing to the left. To its left, at point P' , is a blue vector pointing to the left, representing the electric field $\vec{E}_0$.

$$\vec{E}_0 = k \frac{q_0}{r^2} \vec{u}_0$$

Champ électrique (4)

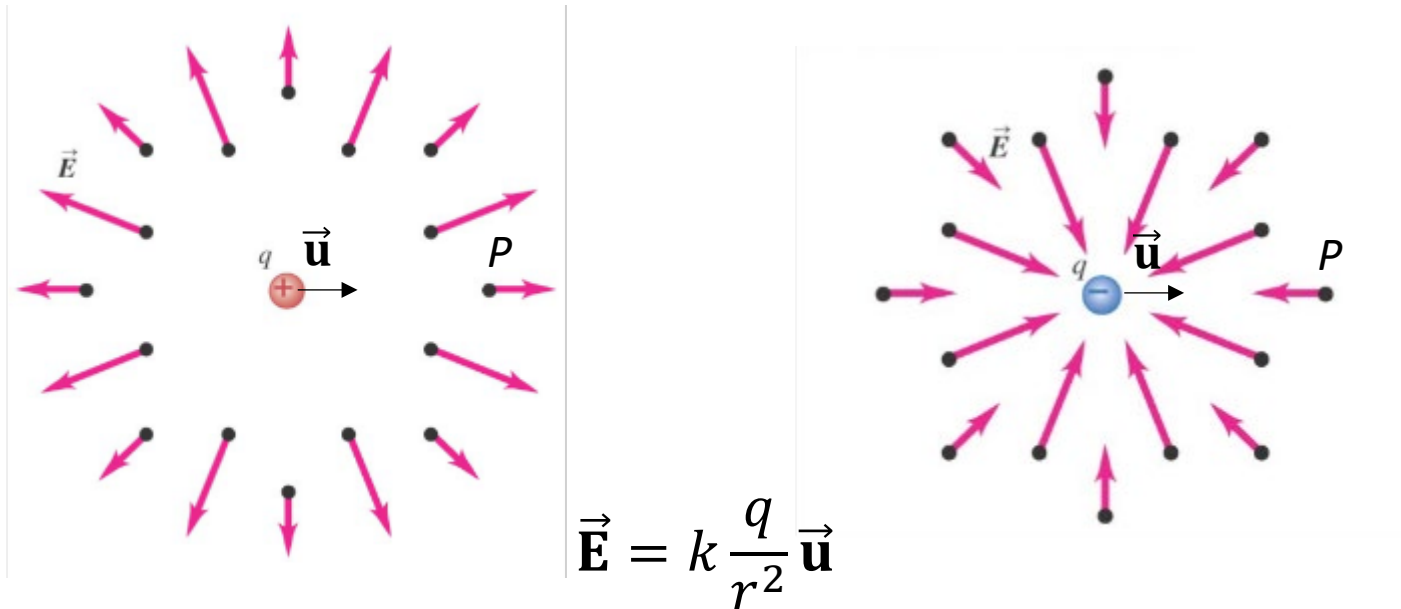


- L'amplitude du champ $\vec{E}$ **décroit** en $\frac{1}{r^2}$, tout comme la force.

$$\vec{E} = k \frac{Q}{r^2} \vec{u} \text{ [N/C]}$$

- En présence d'une charge, le champ $\vec{E}$ existe donc en **tout point** de l'espace.
- Quand **plusieurs** charges sont en présence, **chacune** génère son propre champ électrique.

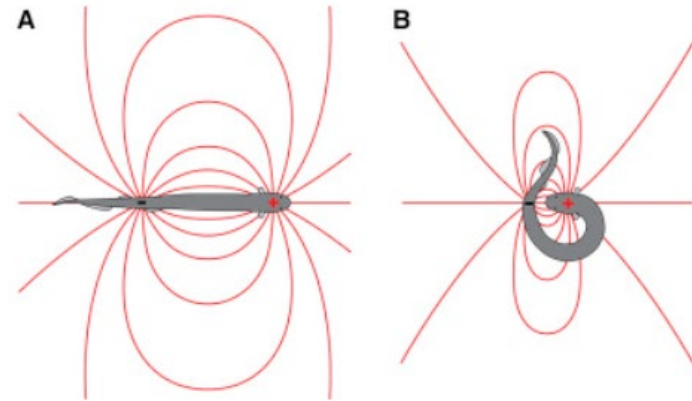
Champ électrique (5)



- ❑ Le champ électrique est **aligné** sur la droite passant par Q et le point d'observation.
- ❑ Lorsque la charge est **positive**, le champ électrique pointe **vers "l'infini"**.
- ❑ Lorsque la charge est **négative**, le champ électrique pointe **vers la charge**.

Champ électrique dans la nature (1)

- ❑ L'anguille renforce le champ électrique autour de sa proie pour la fatiguer.

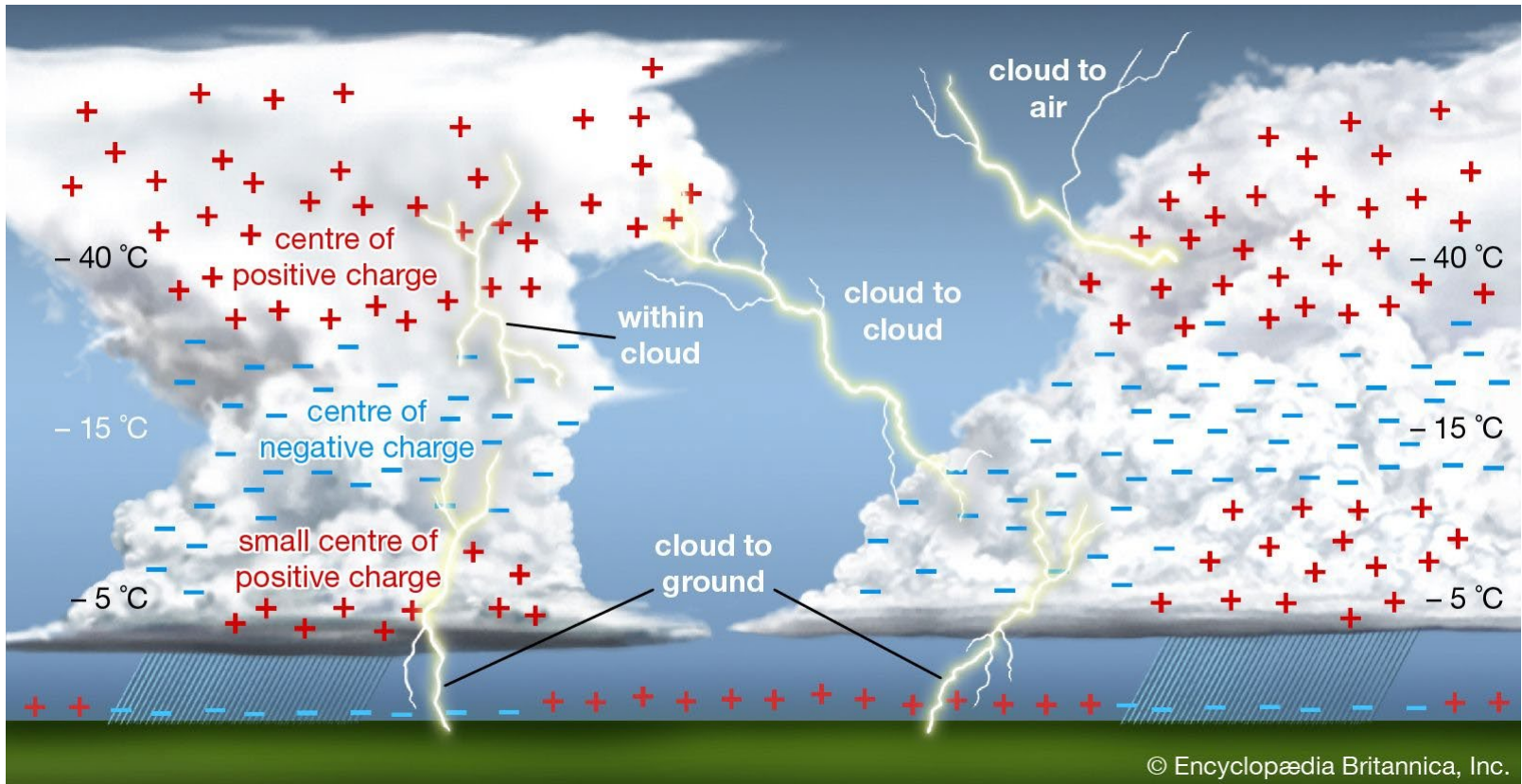


Ken C. Catania, "Electric Eels Concentrate Their Electric Field to Induce Involuntary Fatigue in Struggling Prey", *Current Biology*, Oct 2015.

- ❑ Les antennes des abeilles sont chargées positivement, ce qui leur permet de sentir le champ électrique émis par les fleurs.



Champ électrique dans la nature (2)



- ❑ Un éclair se produit quand le champ électrique devient tellement grand que les forces en présence permettent aux charges de traverser l'air

Agenda Cours 3

1. Charge électrique
2. Isolants et conducteurs
3. Force électrique – Loi de Coulomb
4. Champ électrique
5. Calculs de champ électrique
6. Lignes de champ électrique

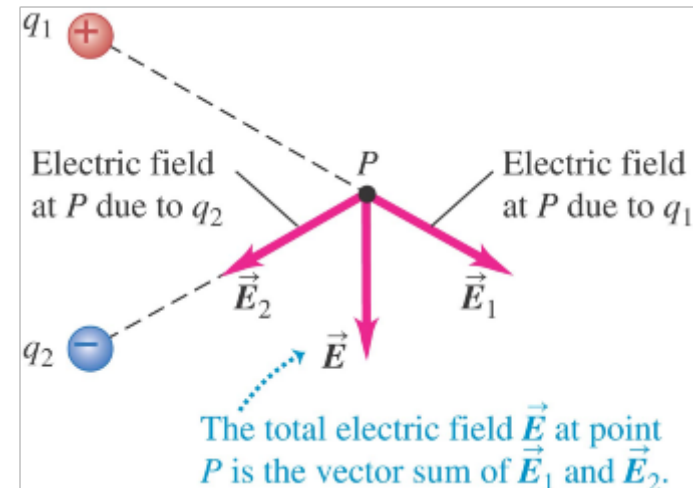
Principe de superposition

- En présence de plusieurs charges ponctuelles, on peut appliquer le **principe de superposition** des forces:

$$\begin{aligned}\vec{F} &= \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \dots \\ &= q\vec{E}_1 + q\vec{E}_2 + q\vec{E}_3 + \dots \\ &= q(\vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3 + \dots) \\ &= q\vec{E}\end{aligned}$$

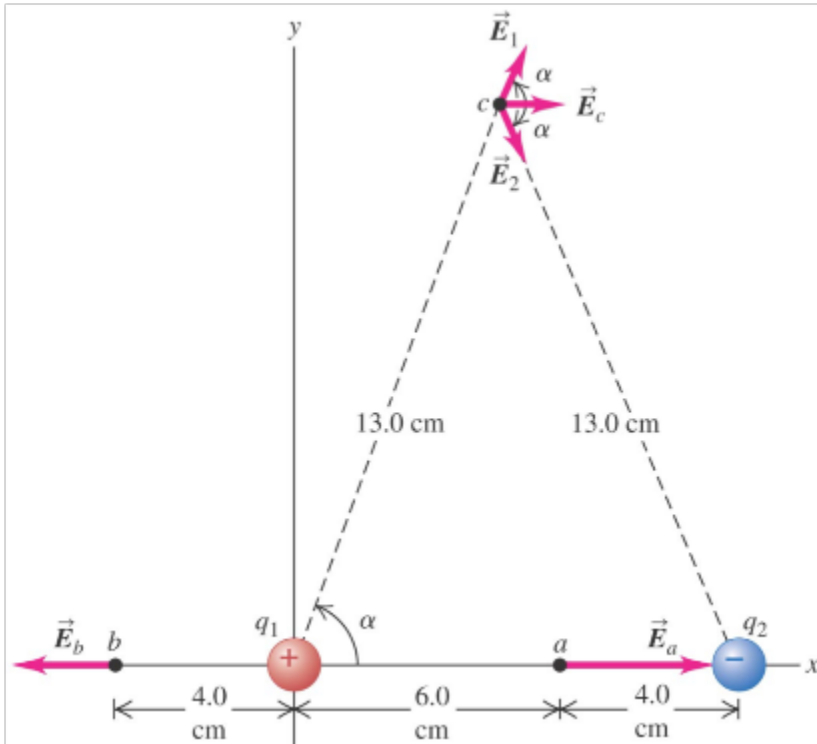
où

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3 + \dots$$



- Le principe de **superposition** s'applique donc aussi au **champ électrique**.

Charges ponctuelles



$$q_1 = 12 \text{ nC}$$

$$q_2 = -12 \text{ nC}$$

$$\text{en a: } 9 \cdot 10^9 \frac{12 \cdot 10^{-9}}{(0,06)^2} + 9 \cdot 10^9 \frac{12 \cdot 10^{-9}}{(0,04)^2} = 3 \cdot 10^4 + 6,8 \cdot 10^4 \text{ V/C} \\ = 9,8 \cdot 10^4 \text{ V/C}$$

$$\vec{E}_a = 9,8 \cdot 10^4 \text{ V/C } \hat{i}$$

$$\text{en b: } -9 \cdot 10^9 \frac{12 \cdot 10^{-9}}{(0,04)^2} + 9 \cdot 10^9 \frac{12 \cdot 10^{-9}}{(0,14)^2} = (-6,8 + 0,55) \cdot 10^4 \text{ V/C}$$

$$\vec{E}_b = -6,2 \cdot 10^4 \text{ V/C } \hat{i}$$

$$\text{en c: } E_1 = 9 \cdot 10^9 \frac{12 \cdot 10^{-9}}{(0,13)^2} = 6,39 \cdot 10^3 \text{ V/C}$$

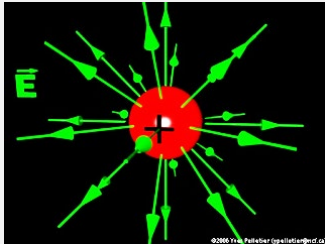
$$\Rightarrow \vec{E}_c = 2 \cdot 6,39 \cdot 10^3 \cdot \frac{5}{13} \text{ V/C } \hat{i} \\ = 4,9 \cdot 10^3 \text{ V/C } \hat{i}$$

Cas particuliers

Charge ponctuelle

$$E = \frac{k|Q|}{r^2}$$

Le module du champ est *inversement proportionnel au carré de la distance*.

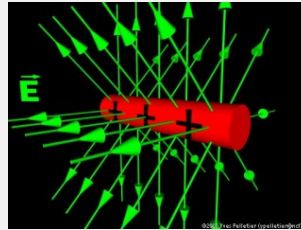


Le champ est radial.

Fil infini

$$E = \frac{2k|\lambda|}{R}$$

Le module du champ est *inversement proportionnel à la distance*.

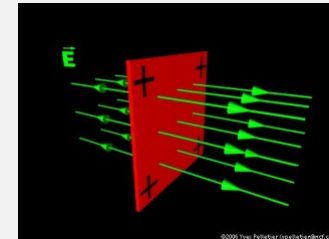


Le champ est radial et orienté perpendiculairement au fil.

Plaque infinie

$$E = \frac{|\sigma|}{2\epsilon_0}$$

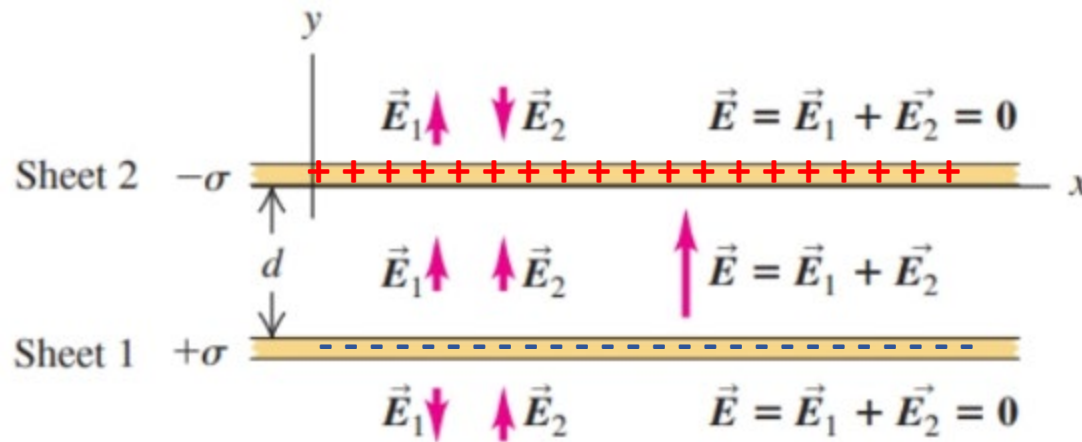
Le module du champ est *indépendant de la distance à la plaque*.



Le champ est constant et orienté perpendiculairement à la plaque.

Deux plaques parallèles

□ Application du principe de superposition:



□ Entre les plaques:

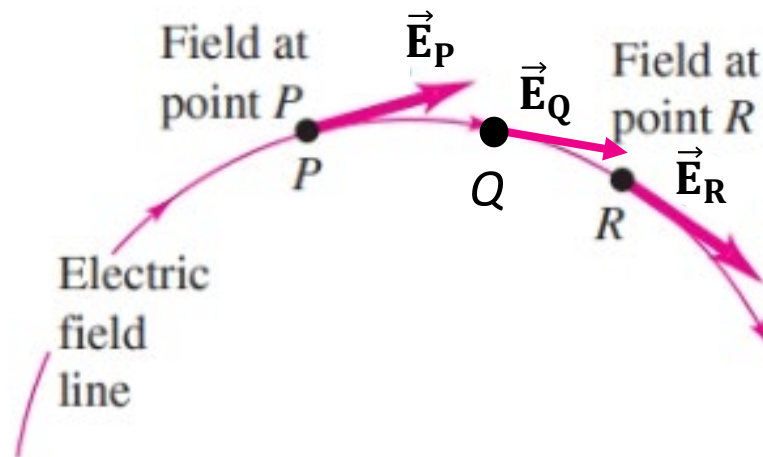
$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 = E_{1x}\vec{e}_x + E_{2x}\vec{e}_x = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}\vec{e}_x + \frac{\sigma}{2\epsilon_0}\vec{e}_x = \frac{\sigma}{\epsilon_0}\vec{e}_x$$

Agenda Cours 3

1. Charge électrique
2. Isolants et conducteurs
3. Force électrique – Loi de Coulomb
4. Champ électrique
5. Calculs de champ électrique
6. Lignes de champ électrique

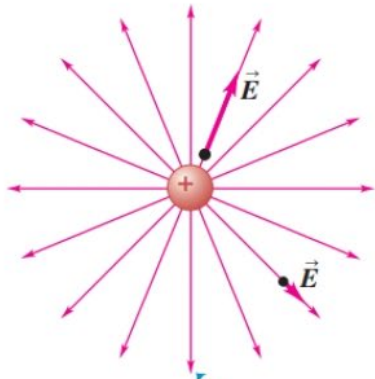
Lignes de champ électrique (1)

- ❑ Champ électrique: notion abstraite et ... **invisible**!
- ❑ **Outil d'aide à la visualisation** des champs électriques: **lignes de champ**.
- ❑ Lignes de champ électrique sont telles qu'en tout point le champ électrique leur est **tangent** (indication sur la direction de $\vec{E}$).

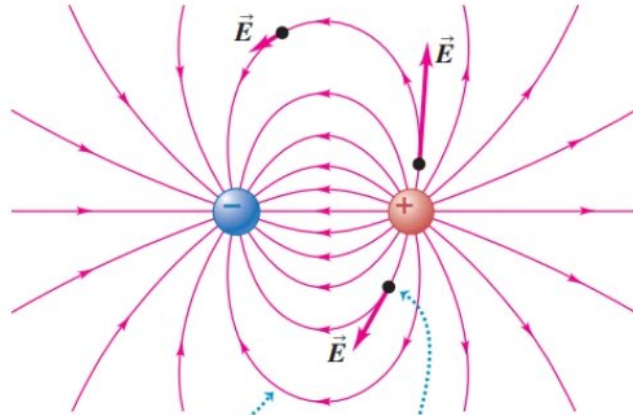


Lignes de champ électrique (2)

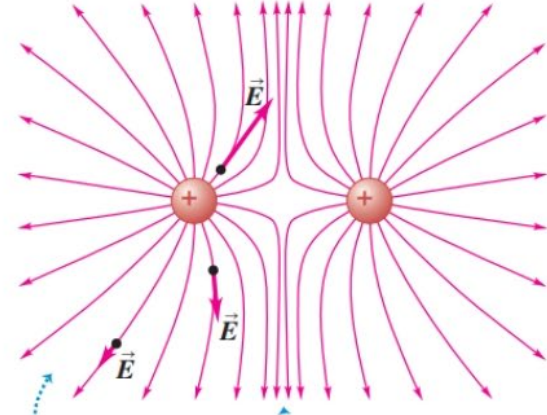
(a) A single positive charge



(b) Two equal and opposite charges (a dipole)



(c) Two equal positive charges



Field lines always point
away from (+) charges
and toward (-) charges.

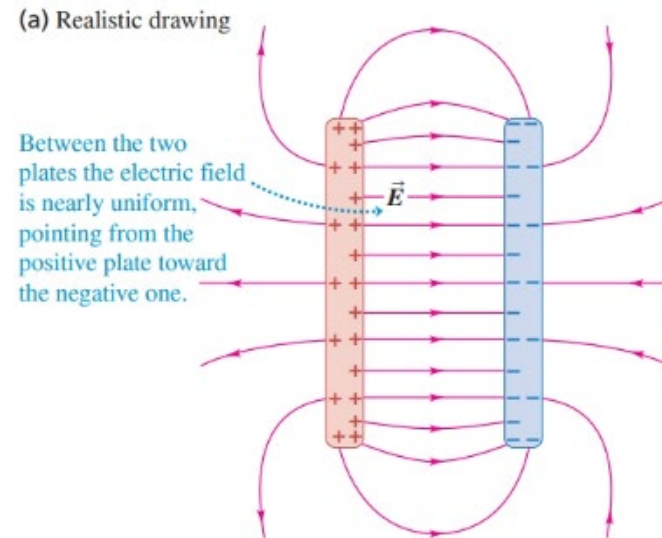
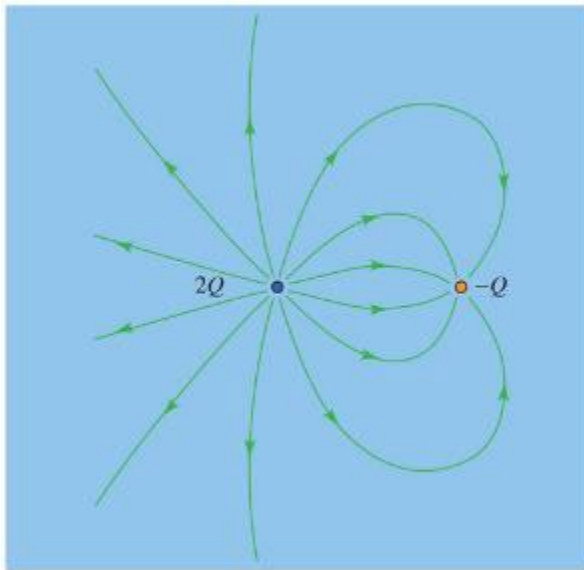
At each point in space, the electric
field vector is *tangent* to the field
line passing through that point.

Field lines are close together where the field is
strong, farther apart where it is weaker.

- ❑ Quelques **propriétés** importantes: Les lignes de champ
 - ❑ sont plus **resserrées** là où le champ est plus **intense** (indication sur l'**amplitude** de $\vec{E}$).
 - ❑ relie des charges positives à des charges négatives (indication sur le **sens** de $\vec{E}$).
 - ❑ ne se croisent jamais !

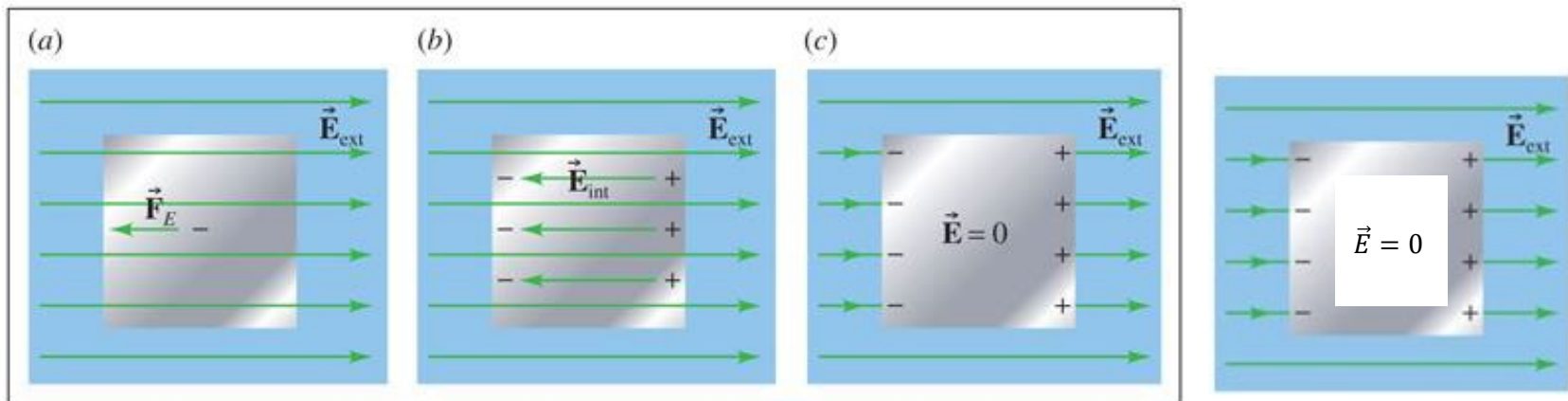
Lignes de champ électrique (3)

- ❑ Les lignes de champ présentent la même **symétrie** que la distribution des charges.



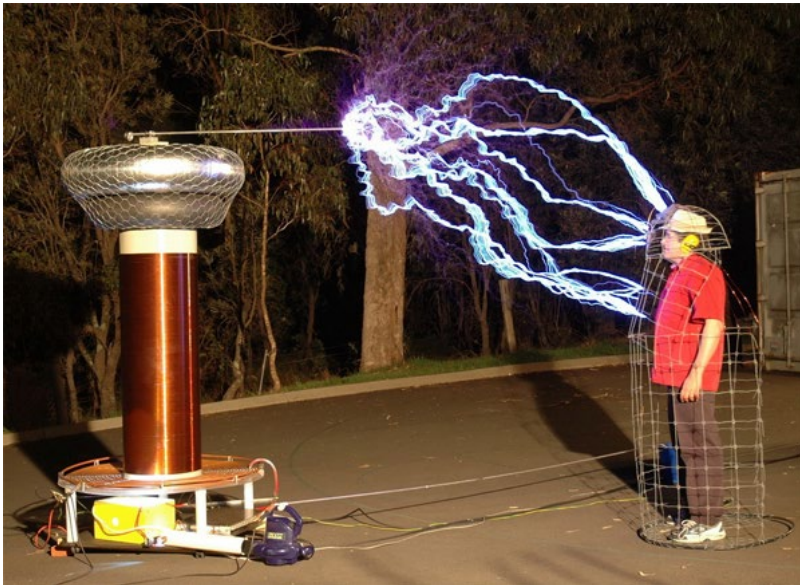
- ❑ Dans la **zone limite** située tout **près d'une charge**, le champ que produit cette charge domine celui de toutes les autres. Le champ est donc **radial**.

Champ électrique et conducteurs



- ❑ Lors de l'application de $\vec{E}_{\text{ext}}$, les électrons du conducteur se **déplacent** dans le sens contraire du champ.
- ❑ Des charges **positives** et **négatives** apparaissent donc de part et d'autre du conducteur, ce qui crée un champ interne $\vec{E}_{\text{int}}$.
- ❑ Le champ interne créé par les charges déplacées compense $\vec{E}_{\text{ext}}$.
- ❑ A l'**équilibre**, le champ à l'intérieur du conducteur est **nul, même s'il est creux !**

Cage de Faraday (1)



- ❑ Puisque le champ est toujours nul partout dans le matériau conducteur, le champ demeurera nul dans la cavité.
- ❑ **Une cage de Faraday** fonctionne selon ce principe !
- ❑ Il s'agit d'une boîte métallique conductrice fermée dont on se sert pour protéger un appareil ou une expérience de l'effet des champs électriques qui existent dans l'environnement externe.

Cage de Faraday (2)

- ❑ A condition qu'elle ne soit pas décapotable ou à toit en plastique, une **automobile close à carrosserie métallique**, est une excellente **cage de Faraday** qui **protège** ses occupants contre les dangers d'électrocution pouvant provenir d'une décharge atmosphérique.
- ❑ Les charges "**glissent**" sur les parois du véhicule.



Champ électrique et isolants: polarisation

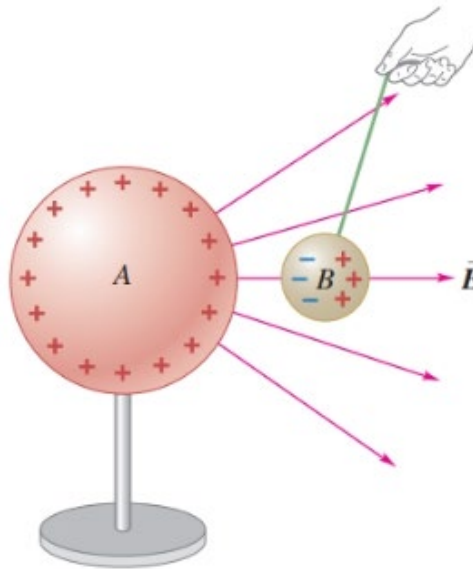
- ❑ Les isolants peuvent être également constitués de molécules **polaires**



- ❑ Si l'on soumet un isolant à un champ électrique, les moments dipolaires vont avoir tendance à **s'aligner** avec le champ.
- ❑ Un effet semblable peut se produire par **induction** avec des molécules **non polaires**:

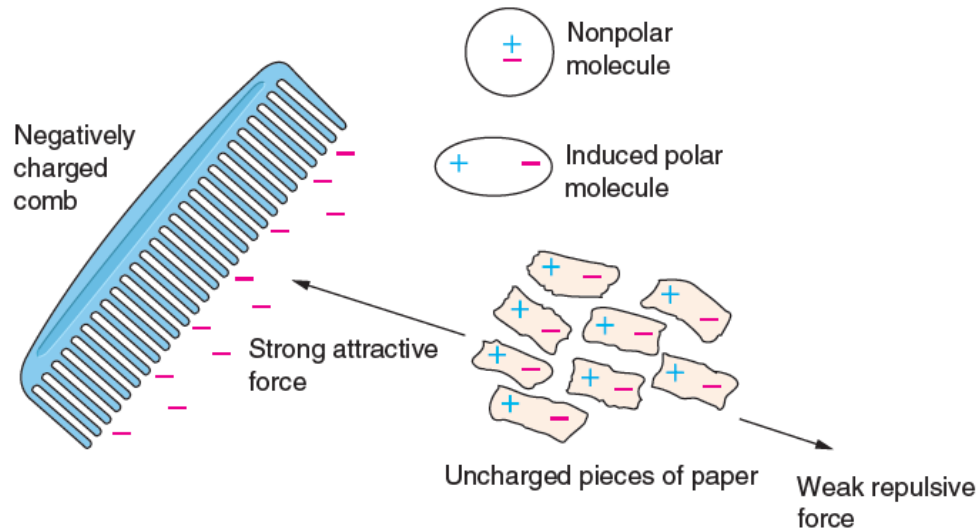


Force exercée sur un isolant (1)



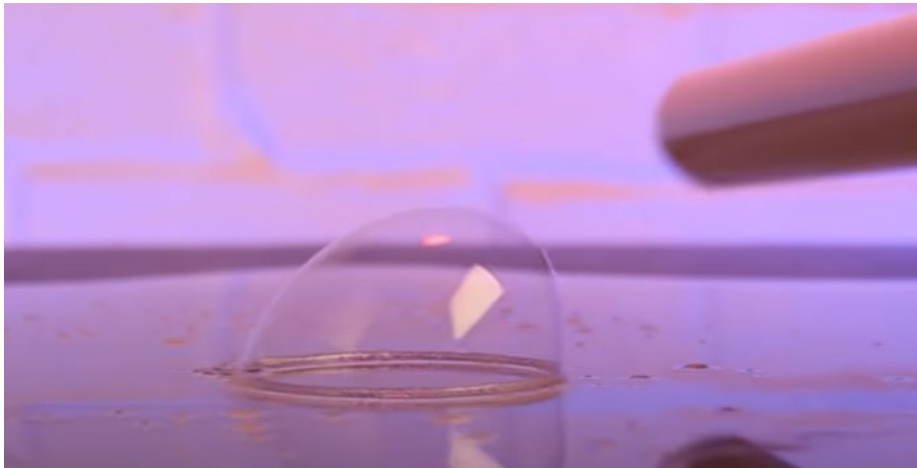
- ❑ La polarisation d'un isolant explique pourquoi un objet électriquement neutre peut être **attiré** par un objet chargé.
- ❑ En effet, les charges les plus proches de la source sont soumises à un champ généralement plus intense que les charges les plus éloignées. Il en résulte une **force résultante non nulle**.

Force exercée sur un diélectrique (2)



- ❑ Les morceaux de papier polarisés sont **attirés** par un peigne chargé par frottement sur une chevelure sèche.

Force exercée sur un diélectrique (3)



<https://www.youtube.com/watch?v=ViZNgU-Yt-Y>

Synthèse du cours 3 (1)

- ❑ La charge électrique est une propriété de la matière (tout comme la masse).
- ❑ Toute charge est un multiple de la charge élémentaire $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$, égale à la charge d'un proton et à l'opposé de celle d'un électron.
- ❑ Les charges de mêmes signes se repoussent, les charges de signes contraires s'attirent.
- ❑ Dans un conducteur, un grand nombre d'électrons se déplacent librement alors que dans un isolant les électrons sont fortement liés aux noyaux atomiques.
- ❑ Puisque matière et charges sont constituées d'éléments discrets (atomes, protons et électrons), leur distribution dans l'espace ne peut être continue. Néanmoins, on considère qu'à l'échelle macroscopique la distribution est continue (mais pas forcément uniforme dans l'espace !).
- ❑ La force agissant entre deux charges est proportionnelle au produit des charges et inversement proportionnelle au carré de la distance entre les charges. Elle est décrite par la loi de Coulomb, qui présente une forme similaire à la loi de la gravitation:

$$\vec{F}_{21} = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \vec{u}_{12} \quad \vec{F}_{BA} = -G \frac{m_A m_B}{r^2} \vec{u}_{AB}$$

Synthèse du cours 3 (2)

- ❑ Dans un système de charges, les charges induisent une force toutes l'une sur l'autre et un principe de superposition s'applique, permettant de calculer la résultante des forces sur une des charges du système.
- ❑ L'influence exercée par une charge Q à distance sur une autre charge est décrite par son champ électrique: $\vec{E} = k \frac{Q}{r^2} \vec{u}$.
- ❑ Toute charge présente dans un champ électrique $\vec{E}$ subit une force donnée par: $\vec{F} = q\vec{E}$.
- ❑ Le champ électrique à une distance x d'un fil infini chargé par une densité linéique de charge uniforme λ [C/m] est donné par: $\vec{E} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \frac{\lambda}{x} \vec{a}_x$
- ❑ Le champ électrique à une distance x d'une plaque infinie chargée par une densité surfacique de charge uniforme σ [C/m²] est donné par: $\vec{E} = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \vec{a}_x$

Synthèse du cours 3 (3)

- ❑ Puisque les charges électriques sont omniprésentes dans la nature, les phénomènes naturels impliquant des champs électriques sont très nombreux.
- ❑ Les lignes de champ électrique sont des courbes orientées dans l'espace et tangentes au vecteur $\vec{E}$ en tout point.
- ❑ Leur configuration donne de l'information sur le sens, l'orientation et l'intensité du champ électrique.
- ❑ Les molécules composant les matériaux isolants sont souvent polarisées, ou bien peuvent être polarisées par un champ électrique, ce qui implique que ces matériaux peuvent subir des forces en présence d'un champ électrique même si ces matériaux ne sont pas chargés électriquement.
- ❑ Les lignes de champ n'existent pas à l'intérieur d'un conducteur à l'équilibre car le champ électrique y est nul. C'est le principe de la cage de Faraday (métallique), qui protège les objets et les personnes qui s'y trouvent de tout champ électrique extérieur.