

Electricité

*L'interaction électromagnétique a été évoqué dans la partie « Interactions fondamentales » en énonçant la loi de Coulomb, et en analysant des phénomènes macroscopiques comme le frottement, la cohésion, l'élasticité, les forces de contact, etc. L'interaction électromagnétique lie la matière sous toutes ses formes observables. C'est elle qui fait tenir les électrons au noyau atomique, les molécules dans les corps et même votre nez au visage. L'électromagnétisme englobe les phénomènes électriques et les phénomènes magnétiques. Tous ces phénomènes ont pour cause commune la **charge électrique**.*

L'étude de l'électricité comprend les notions de champ électrique, de force électrique, de potentiel électrique et de tension électrique (=différence de potentiel), d'énergie électrique, de courant électrique, d'intensité de courant électrique, de résistance électrique.

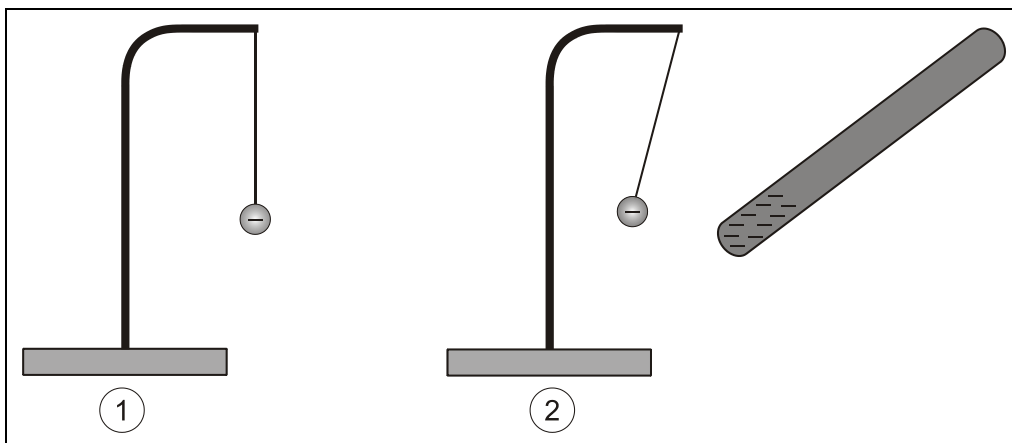
Chapitre 1: Champ électrique

1. Notion de champ électrique

a) Expérience fondamentale

Le pendule électrostatique est constitué par un fin fil isolant auquel est attachée une petite boule isolante très légère (formée par exemple de moelle de sureau). Il est accroché à un support pour qu'il puisse dévier dans tous les sens sous l'action de forces électriques.

Cette boule va être chargée négativement par contact avec un autre corps chargé négativement.



Deux cas se présentent :

- 1) Il n'y a pas d'autre corps chargé à proximité du pendule. Celui-ci reste dans sa position verticale. La boule est en équilibre sous l'action de son poids et de la tension du fil. Il n'y a pas de force électrique s'exerçant sur elle.
- 2) On approche un bâton d'ébonite dont l'une des extrémités a été chargée négativement en la frottant avec une peau de chat. Le pendule dévie par rapport à sa position verticale. La boule est en équilibre sous l'action du poids, de la tension du fil et de la force électrique exercée par les charges négatives du bâton d'ébonite.

b) Notion de champ électrique

L'apport du bâton d'ébonite chargé a modifié les propriétés électriques de la région dans laquelle se trouve le pendule :

En 1, cette région est telle que le pendule n'est pas soumis à une force électrique.

En 2, cette région est telle que le pendule est soumis à une force électrique.

Les physiciens décrivent cette propriété électrique d'une région de l'espace par la notion de champ électrique :

En 1, il ne règne pas de champ électrique dans la région du pendule.

En 2, il règne un champ électrique dans la région du pendule.

Ce champ électrique est créé par le bâton d'ébonite chargé.

c) Définition du champ électrique

Un champ électrique est une région de l'espace où une charge électrique est soumise à une force électrique.

Conséquences :

- * Pour contrôler s'il règne un champ électrique dans une région, on y place une petite charge témoin, et on examine si elle est soumise à une force électrique ou non.
- * Le pendule électrostatique chargé peut servir de charge témoin.
- * À proximité d'un corps chargé règne un champ électrique. Tout corps chargé est donc source d'un champ électrique.

d) Remarques importantes

On distingue rigoureusement entre **charge source d'un champ électrique** et **charge témoin**.

- * La charge témoin ne sert qu'à contrôler s'il règne ou non un champ électrique.
- * La charge source crée le champ électrique. Dans ce champ peuvent se trouver une ou plusieurs charges témoin soumises à des forces électriques exercées par la charge source.
- * La charge témoin crée bien sûr aussi un champ électrique. Comme elle est faible, son champ est négligé de sorte que sa présence ne modifie pas le champ de la charge source.
- * Le champ créé par une charge source existe même en absence de la charge témoin qui l'a mis en évidence.

e) Exemples

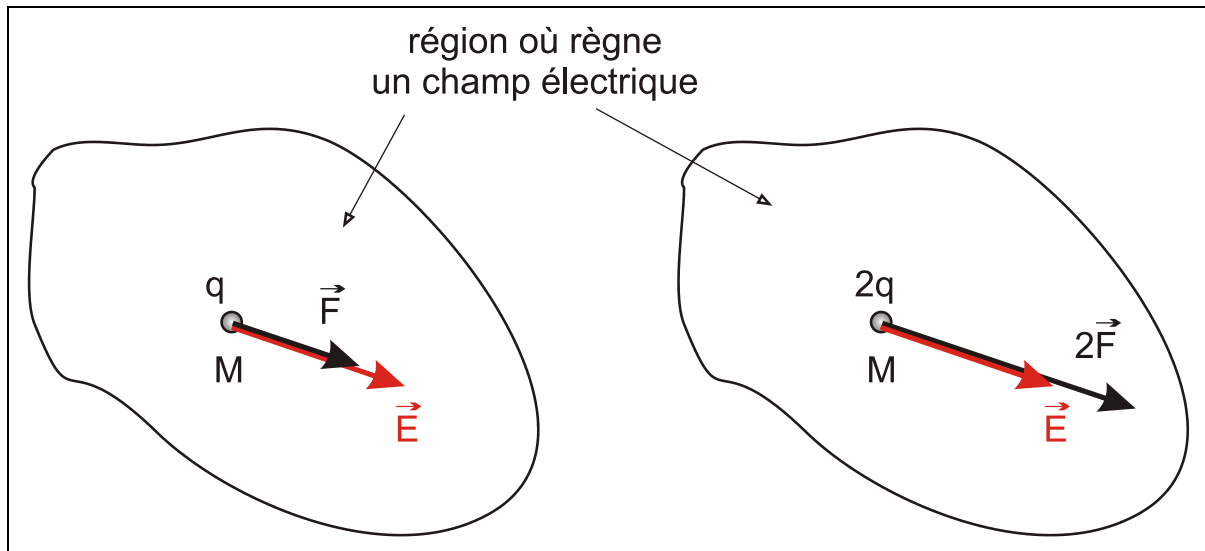
- * Les électrodes fortement chargées d'une **machine de Whimshurst** créent un puissant champ électrique entre elles.
- * La cloche d'un **générateur de Van der Graaf** crée un puissant champ électrique autour d'elle.
- * Les **corps neutres** ne créent pas de champ électrique.
- * Dans les **atomes**, chaque électron se déplace dans le champ électrique créé par le noyau électrique et par les autres électrons.
- * Dans un **fil conducteur connecté aux pôles d'un générateur de tension** règne un champ électrique, responsable des forces électriques qui propulsent les électrons et créent ainsi le courant électrique dans le fil.

2. Définition du vecteur champ électrique

Une charge témoin $q > 0$ est placée en un point M où règne un champ électrique. Elle subit une force électrique \vec{F} qui dépend de la valeur de la charge q .

En fait, comme le suggère la loi de Coulomb, cette force est proportionnelle à la charge q !

Conséquence : $\frac{\vec{F}}{q}$ est constant au point M.



On définit le vecteur champ électrique en M par : $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$

Caractéristiques du vecteur \vec{E} :

* **Intensité** : $E = \frac{F}{|q|}$

Elle est numériquement égale à l'intensité de la force électrique qui s'exerce sur une charge témoin $q = 1$ C.

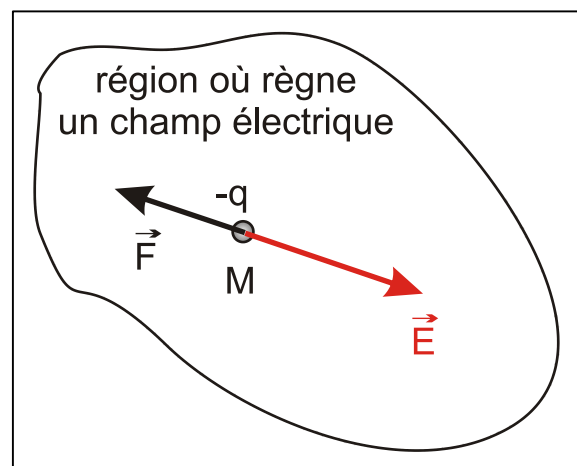
* **Direction** : la même que celle de la force électrique \vec{F} .

* **Sens** : si $q > 0$: celui de la force électrique \vec{F}

si $q < 0$: opposé à celui de la force électrique \vec{F}

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

(formule à retenir)

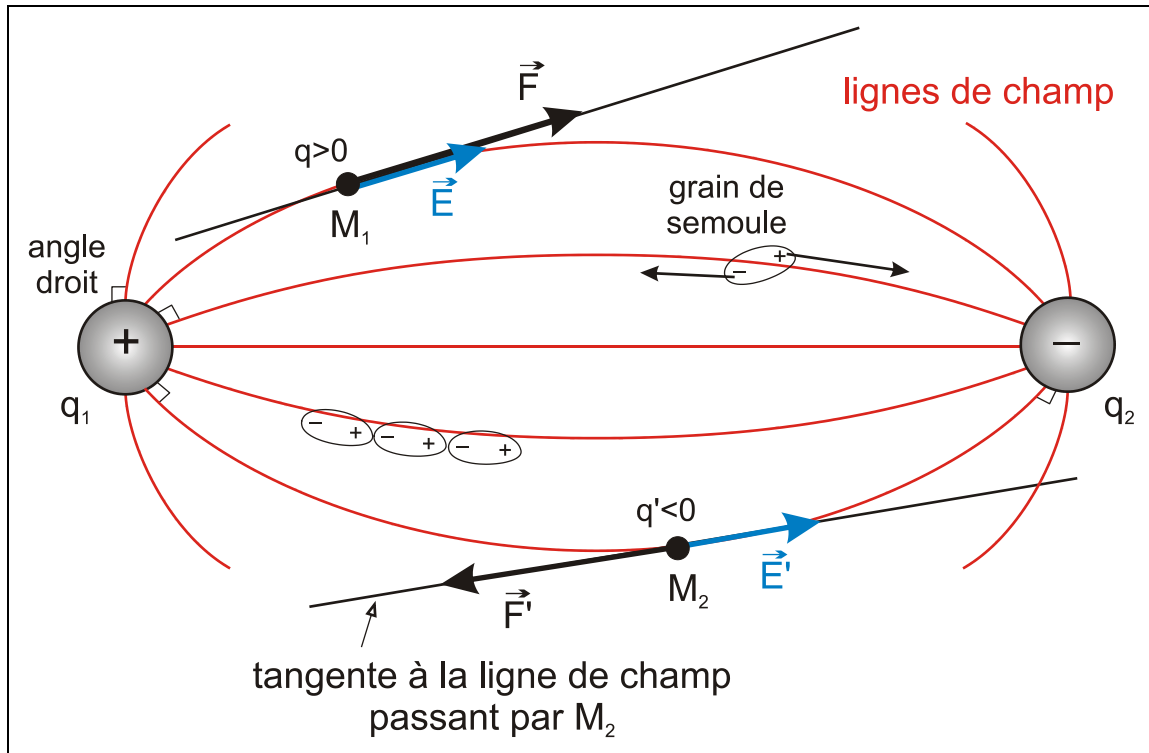


3. Spectres électriques. Lignes de champ

a) Expérience

Dans l'espace de deux électrodes chargées l'une positivement ($q_1 > 0$), l'autre négativement ($q_2 < 0$), on dispose de l'huile contenant des grains de semoule.

Observation : Les grains dessinent des courbes appelées **lignes de champ** !



Interprétation :

Sous l'influence du champ créé par les charges q_1 et q_2 , les grains de semoule sont polarisés. Ainsi chaque grain devient un dipôle électrique dont les charges sont soumises à une force électrique exercées par q_1 et q_2 . Ces forces ont pour effet d'orienter le grain parallèlement aux forces électriques.

Conclusion :

Les lignes de champ indiquent en tout point du champ la direction des forces électriques et donc la direction du vecteur champ électrique \vec{E} .

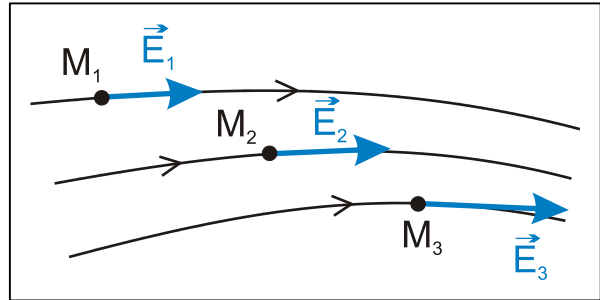
b) Lignes de champ du champ électrique

Définition :

On appelle ligne de champ une ligne qui, en chacun de ses points, est tangente au vecteur champ électrique \vec{E} en ce point.

Propriétés des lignes de champ :

- 1) Les lignes de champ ne se coupent jamais.
- 2) Les lignes de champ sont orientées dans le sens du champ électrique \vec{E} .
- 3) La direction du champ \vec{E} en un point est tangente à la ligne de champ.
- 4) L'intensité du champ \vec{E} , notée E , est proportionnelle à la densité des lignes de champ.
($E_1 < E_2 < E_3$)
- 5) Si le champ électrique est créé par des **conducteurs** chargés, les lignes de champ partent et entrent perpendiculairement à ces conducteurs.



Remarque :

La figure des lignes de champ est une représentation du champ. Elle est encore appelée **spectre électrique**.

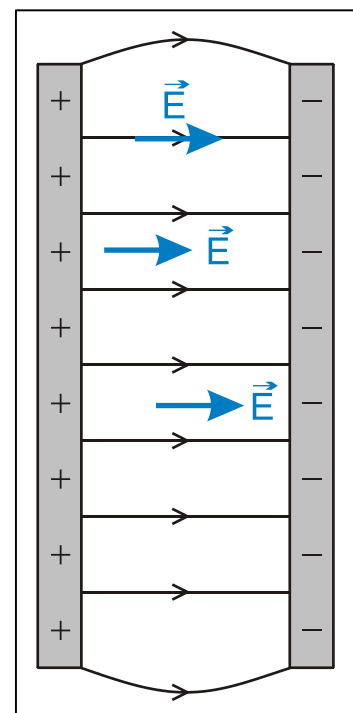
c) Exemples de spectres électriques

- * **Champ créé par un condensateur chargé** (deux plaques parallèles rapprochées chargées l'une positivement l'autre négativement, et avec des charges de même valeur absolue)

A l'exception des régions aux bords, les lignes de champ sont parallèles, perpendiculaires aux plaques, et partout de même densité

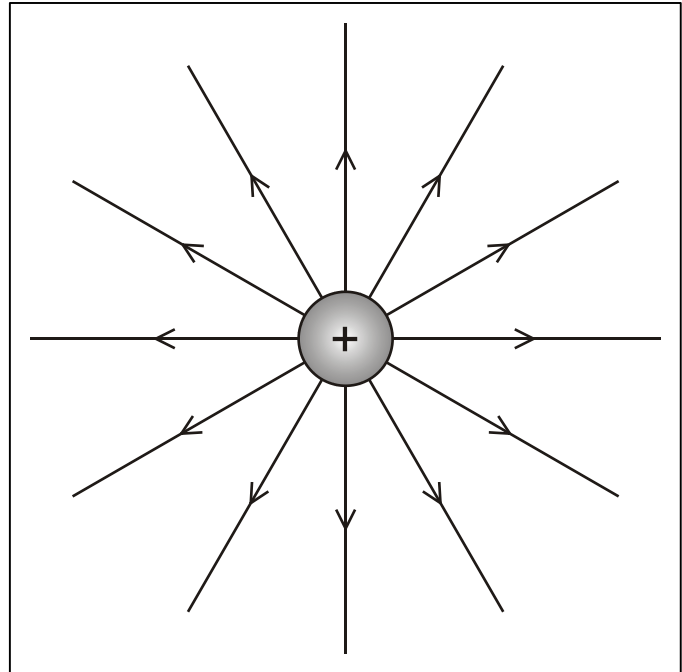
⇒ même vecteur \vec{E} en tout point du champ : le champ est **uniforme** !

Dans la région des bords du condensateur, les lignes de champ sont courbées vers l'extérieur. On appelle ce phénomène « effet de bord ».



* **Champ créé par une charge ponctuelle**

Le champ est **radial**.



* **Champ autour d'une pointe**

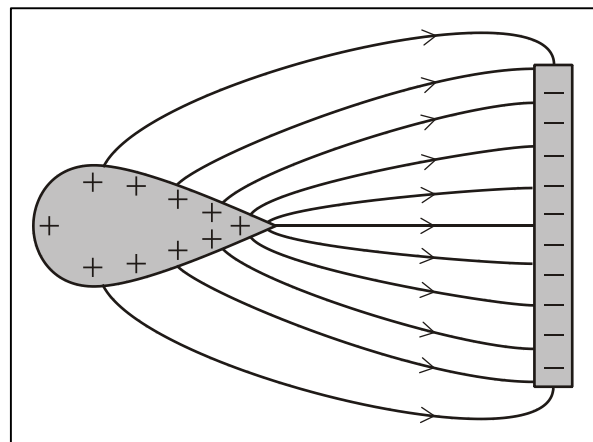
Au voisinage d'une pointe, le champ est particulièrement intense.

Le fait que les lignes de champ se resserrent au niveau de la pointe est appelé « effet de pointe ».

C'est aussi à cet endroit que passe le courant le plus important (s'il y a conduction de courant).

Applications pratiques de l'effet de pointe :

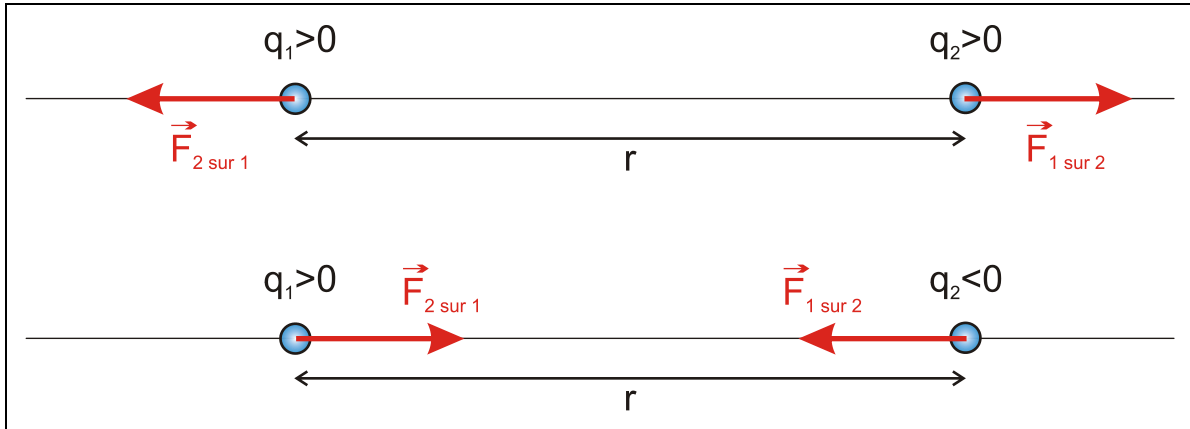
- paratonnerres (ou parafoudres) ;
- électro-coagulation (technique d'opération où l'on se sert d'un scalpel électrique pour couper un tissu ou un vaisseau sanguin sans qu'il n'y ait trop de saignements).



4. Champ électrique créé par une charge ponctuelle

a) Loi de Coulomb

- * Toute charge électrique exerce une force (à distance) sur toute autre charge: des charges de même signe se repoussent, des charges de signe contraire s'attirent.



- * q_1 exerce $\vec{F}_{1 \text{ sur } 2}$ sur q_2 ; q_2 exerce $\vec{F}_{2 \text{ sur } 1}$ sur q_1 .

Principe des actions réciproques : $\vec{F}_{1 \text{ sur } 2} = -\vec{F}_{2 \text{ sur } 1}$

Normes: $F_{1 \text{ sur } 2} = F_{2 \text{ sur } 1} = F$

- * L'expérience montre que :
$$\left. \begin{array}{l} F \sim |q_1| \\ F \sim |q_2| \\ F \sim \frac{1}{r^2} \end{array} \right\} \Rightarrow F \sim \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{r^2} \Leftrightarrow F = k \cdot \frac{|q_1 q_2|}{r^2}$$

- * $k =$ constante de proportionnalité $= 9 \cdot 10^9$ unités S.I.

La constante k peut être exprimée à l'aide d'une autre constante appelée **permittivité du vide**, notée ϵ_0 :

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \quad \text{avec } \epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} \text{ unités S.I.}$$

- * Enoncé de la loi de Coulomb:

La force qu'une charge q_1 exerce sur une charge q_2 se trouvant à la distance r de q_1 s'écrit:

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{|q_1 q_2|}{r^2}$$

b) Champ électrique créé par une charge ponctuelle Q (=charge source)

Quel est le vecteur \vec{E} en un point M quelconque du champ créé par Q (M à la distance r de Q) ?

On place en M une **charge test** $q > 0$:

* **Norme** de \vec{E} :

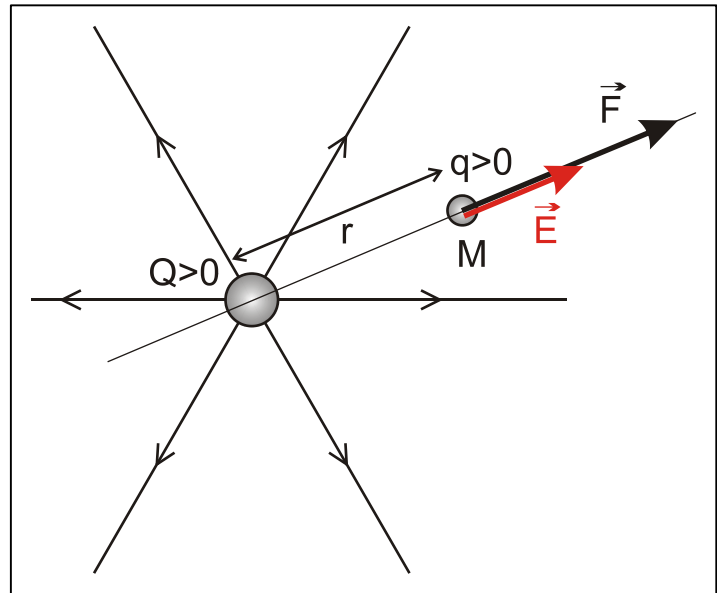
La force F subie par q dans le champ s'écrit :

$$F = |q|E \quad (1)$$

D'après la loi de Coulomb F s'écrit également :

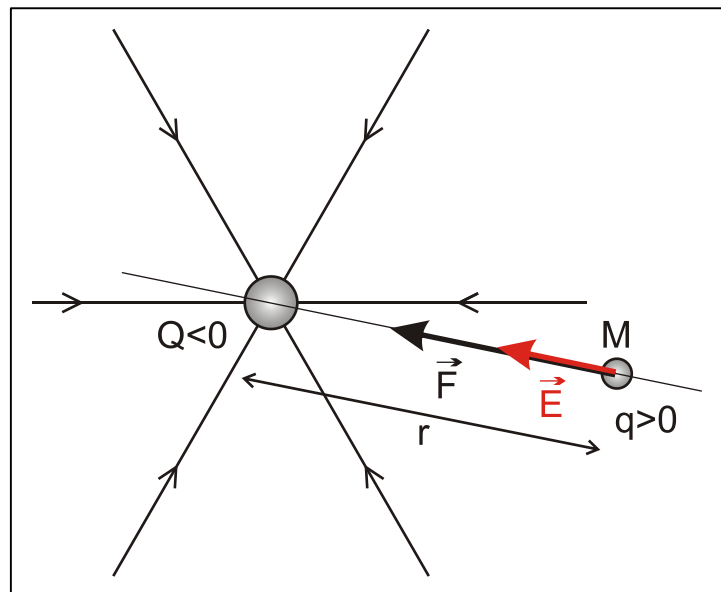
$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{|qQ|}{r^2} \quad (2)$$

(1) et (2) \Rightarrow Champ E au point M : $E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{|Q|}{r^2}$



* **Direction** de \vec{E} : droite passant par la charge source et le point M

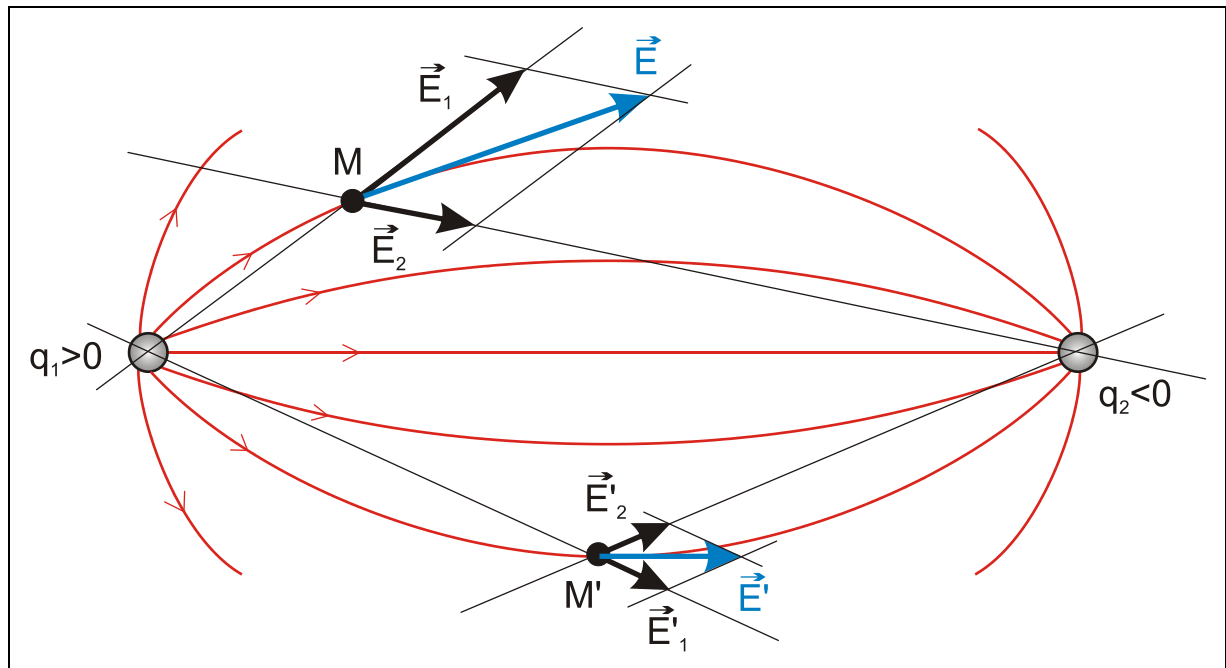
* **Sens** de \vec{E} : $Q > 0$: \vec{E} centrifuge
 $Q < 0$: \vec{E} centripète



5. Champ électrique créé par deux charges ponctuelles de même valeur absolue et de signe contraire

Au point considéré, on représente le champ \vec{E}_1 créé par q_1 , et le champ \vec{E}_2 créé par q_2 . Le champ résultant est donné par la somme vectorielle des champs qui se superposent :

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



De la même façon on peut construire le champ résultant \vec{E} produit par 3, 4, ... charges.

Exercices supplémentaires

- 1) Quelle est la valeur du champ électrique créé par un proton à une distance de celui-ci égale à 10^{-10} m ?
- 2) Une charge ponctuelle q crée un champ dont la valeur est 10 N/C à 1 cm de la charge.
 - a) Quelle est la valeur de q ?
 - b) Quel est le champ créé aux distances (en cm) égales à 2, 3, 4, 5 ? Représenter graphiquement la variation du champ en fonction de la distance à la charge q .
- 3) Deux charges électriques $+q$ et $-q$ sont respectivement en A et B telles que $AB=2a$.
 - a) Déterminer, en fonction de q , ϵ_0 et a , les caractéristiques du champ électrostatique au milieu O de AB.
 - b) Déterminer l'intensité E_M du champ électrostatique au point M tel que $MA=MB=2a$.
- 4) Deux charges $+q$ sont situées en deux sommets opposés d'un carré de côté a . Le troisième sommet porte la charge $-q$. Quel est le champ électrique créé par ces trois charges au quatrième sommet du carré ?
- 5) Aux sommets ABCD d'un carré de côté $a = 5$ cm sont placées les charges $+q$, $+q$, $+3q$, $+3q$ ($q = 1,0$ nC). Déterminer les caractéristiques du vecteur champ électrique créé au centre du carré.
- 6) Un pendule électrostatique dont la boule a une masse $m = 1,0$ g et porte une charge q est placée dans un champ électrique horizontal et uniforme $E = 2,0 \cdot 10^5$ N/C. Sachant qu'à l'équilibre le fil est incliné de 12° par rapport à la verticale, calculer q .
- 7) La charge élémentaire e de l'électron fût déterminée pour la première fois en 1911 par le physicien américain Robert Andrews Millikan en mesurant le champ électrostatique nécessaire pour maintenir en équilibre, entre les plateaux horizontaux d'un condensateur plan, une gouttelette d'huile portant une charge q négative.
 - a) Faire un schéma du dispositif et représenter les forces qui agissent sur la gouttelette. Indiquer le signe des charges portées par chacun des plateaux.
 - b) En admettant que la gouttelette porte deux charges élémentaires, déterminer l'intensité E du champ électrostatique si le rayon de la gouttelette est $r = 1$ μm , la masse volumique de l'huile $\rho = 800$ kg/m³, celle de l'air $a = 1.29$ kg/m³.