

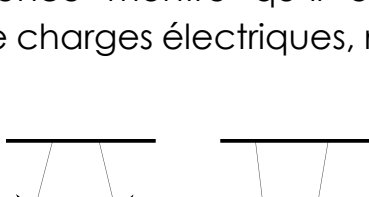
# P1 : Interactions fondamentales et notion de champ

Dans ce chapitre on s'intéresse à deux interactions fondamentales : la **gravitation** et l'interaction **électrique**. On verra aussi qu'une force peut être interprétée soit comme l'effet direct d'un corps sur un autre, soit comme l'action d'un « champ ».

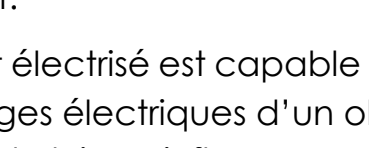
## 1 L'interaction électrostatique.

### A. Charges et interactions électrostatique

- Un objet isolant peut acquérir des propriétés électrique, on dit qu'il porte des **charges électriques** (ou qu'il est électrisé)

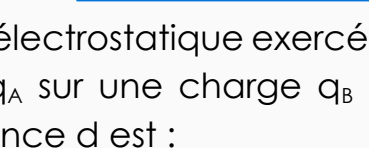


- L'expérience montre qu'il existe deux types de charges électriques, notées + et -



- Les charges de même signe se repoussent et celle de signe contraire s'attirent.

- Un objet électrisé est capable de séparer les charges électriques d'un objet qui est proche de lui par influence.

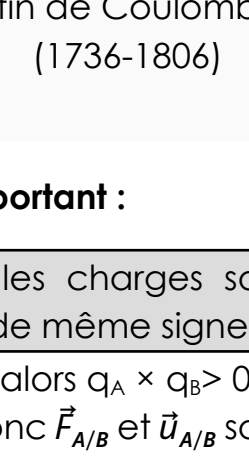


### B. Loi de Coulomb.

#### Définition Loi de Coulomb:

La force électrostatique exercée par une **charge**  $q_A$  sur une charge  $q_B$  placée à une distance  $d$  est :

$$\vec{F}_{A/B} = \frac{k \times q_A \times q_B}{d^2} \vec{u}_{A/B}$$



Charles-Augustin de Coulomb  
(1736-1806)

$q_A$  et  $q_B$  sont les charges en coulomb (C)  
 $d$  la distance en mètre (m)  
 $F$  la force en newton(N)

$k = 8,99 \times 10^9 \text{ N.m}^2\text{C}^{-2}$

$\vec{u}_{A/B}$  est un vecteur unitaire dirigé de A vers B

**Important :**

Si les charges sont de même signe :	Si les charges sont de signes opposés :
alors $q_A \times q_B > 0$ donc $\vec{F}_{A/B}$ et $\vec{u}_{A/B}$ sont de même sens	alors $q_A \times q_B < 0$ donc $\vec{F}_{A/B}$ et $\vec{u}_{A/B}$ sont de sens opposé !
la force de A/B est <b>attractive</b>	la force de A/B est <b>répulsive</b>



**Attention :**

- Ne pas confondre** une force et sa norme ! Une force est un vecteur et la norme est sa valeur.  $\vec{F} \neq F$  !
- La norme d'un vecteur est toujours **positive**. Il faut donc parfois utiliser une valeur absolue  $F = \frac{|k \times q_A \times q_B|}{d^2}$  pour être sûre qu'elle ne soit pas négative.
- On rappelle que  $\vec{F}_{B/A} = -\vec{F}_{A/B}$

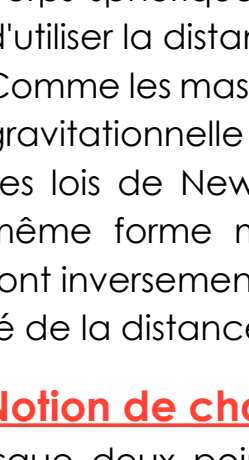
## 2 L'interaction gravitationnelle.

Tous les objets s'attirent les uns les autres en raison de leur masse.

#### Définition Loi de Newton:

La force gravitationnelle exercée par un point de masse  $m_A$  sur un point de masse  $m_B$  placé à une distance  $d$  est :

$$\vec{F}_{A/B} = -\frac{G \times m_A \times m_B}{d^2} \vec{u}_{A/B}$$



Isaac Newton  
(1643-1727)

$m_A$  et  $m_B$  les masses en kilogramme (kg)  
 $d$  la distance en mètre (m)  
 $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N.m}^2.\text{kg}^{-2}$  est la constante gravitationnelle.

$\vec{u}_{A/B}$  le vecteur unitaire dirigé de A vers B

**Remarques :**

- La loi de Newton est valable pour des corps sphériques (planètes) à condition d'utiliser la distance en les centres.
- Comme les masses sont positives, la force gravitationnelle est toujours attractive
- Les lois de Newton de Coulomb ont la même forme mathématique, car elles sont inversement proportionnelles au carré de la distance.

## 3 Notion de champ.

Lorsque deux points A et B sont en interaction à distance, 2 interprétations sont possibles :

- Dire que B subit la force directement **exercée par A** à distance.
- Ou dire que A crée un champ autour de lui, et B subit une force **exercée par le champ** au point où il se trouve.

### A. Champ de gravitation

Lorsque deux points A et B sont en interaction gravitationnelle, on peut dire :

- B subit la **force** exercée par A:  $\vec{F}$  (à distance)
- B est soumis au champ.  $\vec{\zeta}$  (qui existe au B)

#### Définition Champ gravitationnel

Une masse ponctuelle  $m$  placée en un point de l'espace où existe un **champ gravitationnel**,  $\vec{\zeta}$ , subit une force gravitationnelle :

$$\vec{F} = m \times \vec{\zeta}$$

### B. Champ électrostatique

Le principe est le même : la présence de charges électriques crée un champ électrostatique  $\vec{E}$  dans l'espace

#### Définition Champ électrostatique

Une charge ponctuelle  $q$  placée en un point de l'espace où il y a un **champ électrostatique**,  $\vec{E}$  subit une force électrostatique

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

**Remarque importante :**

Si  $q > 0$ , la force est de même sens que le champ  $\vec{E}$

Si  $q < 0$  la force est de sens opposée au champ.

### C. Lignes de champ

Les champs gravitationnel ou électrostatique sont vectoriels pour les représenter dans une zone de l'espace, on dessine soit :

#### Ce qu'il faut savoir faire

- ✓ Interpréter des expériences mettant en jeu l'interaction électrostatique.
- ✓ Utiliser la loi de Coulomb.
- ✓ Citer les analogies entre la loi de Coulomb et la loi d'interaction gravitationnelle.
- ✓ Utiliser les expressions vectorielles :

de la force de gravitation et du champ de gravitation ; de la force électrostatique et du champ électrostatique.

- ✓ Caractériser localement une ligne de champ électrostatique ou de champ de gravitation.

Les vecteurs en <b>différents points</b>	Des lignes qui sont <b>tangentes</b> au champ, où « <b>lignes de champ</b> »
<b>Exemple 1</b> : Champ électrostatique d'une charge positive.	
<b>Exemple 2</b> : Champ électrostatique de deux charges de signes différents.	

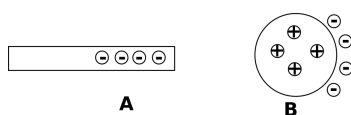
## P1 : Activité et Exercices

### ⚠ Méthode de travail à suivre :

- **Lire** la partie cours et suivre les **explications** du professeur.
- **Rédiger** les réponses aux questions Q1.. sur une feuille de travail. Ne pas attendre la correction pour commencer !
- **Réaliser** une carte mentale (ou un résumé) du cours
- **Faire les exercices** dans l'ordre (sur une feuille)

### Rappels :

- Q1.** En physique, qu'est-ce qu'une force ? Donner quelques exemples.
- Q2.** Comment les représente-t-on sur les dessins ?
- Q3.** Donner les noms des 3 caractéristiques d'une force.
- Q4.** Interpréter ce qui se passe dans la situation ci dessous en utilisant les mots *noyaux*, *électrons*



- Q5.** Sur les schémas ci-dessous dessiner (sans échelle particulière):

- le vecteur  $\vec{u}_{A/B}$  au point B.
- la force exercée par A sur B notée  $\vec{F}_{A/B}$

Situation n°1 $q_A > 0$ et $q_B > 0$	Situation n°2 $q_A < 0$ et $q_B > 0$

- Q6.** Calculer la valeur de la force  $F_{\text{proton/électron}}$  pour une distance de 1,0 nm entre l'électron et le proton.

**Données :**  $q_{\text{proton}} = e = 1,6 \times 10^{-19} \text{C}$  et  $q_{\text{électron}} = -e = -1,6 \times 10^{-19} \text{C}$

- Q7.** Calculer la valeur de la force exercée par la Terre sur la Lune.

**Données :**  $m_{\text{Terre}} = 5,97 \times 10^{24} \text{ kg}$  ;  $m_{\text{Lune}} = 7,35 \times 10^{22} \text{ kg}$  ;  $d_{T-L} = 3,84 \times 10^5 \text{ km}$ .

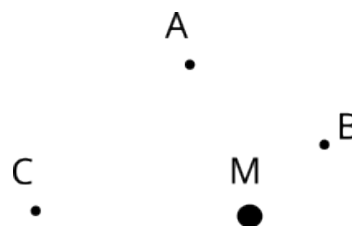
- Q6.** Expliquer le mouvement de rotation de l'aiguille d'une boussole en utilisant:

- le mot de *force*
- l'expression de *champ magnétique*.

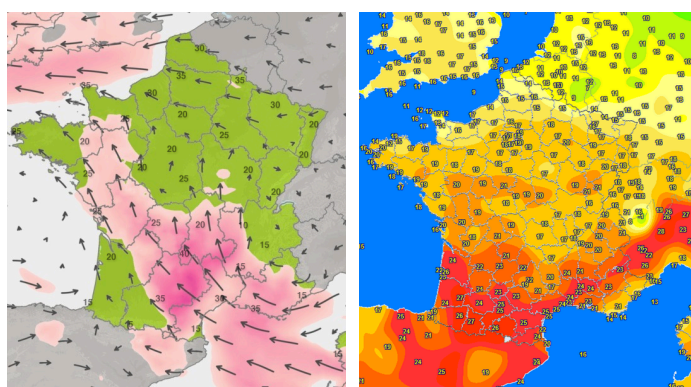
- Q7. Question importante:** En utilisant la loi de Newton, donner l'expression (formule) du champ gravitationnel  $\vec{\zeta}$  exercé par une masse ponctuelle A en un point M. On notera d la distance AM.

- Q8.** En utilisant le résultat précédent, que peut on dire de la valeur du champ si la distance est doublée ?

- Q9.** Sur le schéma ci dessous, une masse M exerce un champ gravitationnel autour d'elle. Représenter sans échelle mais de façon cohérente les vecteurs champs aux points notés A,B et C.



- Q10.** Une grandeur physique qui varie selon sa position dans l'espace constitue un champ. Sur les cartes ci-dessous quelles sont les deux champs représenté ?



### Rappels de mathématique :

- 1)** Utilisation de la calculette

Par exemple pour taper  $1,6 \times 10^{-19}$  il faut taper



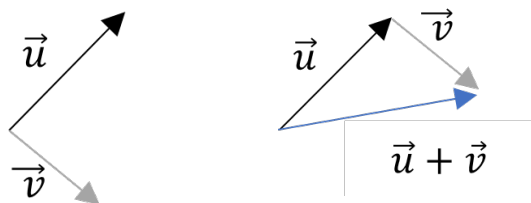
La calculette affiche **1.6E-19**

Attention à ne pas écrire les puissances de 10 de cette façon sur le papier ! Il existe d'autres méthodes pour saisir les puissances de 10 mais elles risquent de générer des erreurs ...

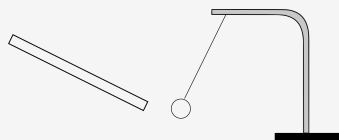
- 2)** Somme de deux vecteurs.

À partir des deux vecteurs  $\vec{u}$  et  $\vec{v}$ , comment construire graphiquement le vecteur  $\vec{w} = \vec{u} + \vec{v}$  ?

- On « glisse » la base de  $\vec{v}$  au niveau de la pointe de  $\vec{u}$
- On trace le vecteur qui part de la base de  $\vec{u}$  jusqu'à la pointe de  $\vec{v}$



### Exercice 1: Charges et pendule



On frotte une baguette de verre avec une peau de chat. La charge portée par la baguette est de  $+5 \text{ nC}$

**Données:** charge élémentaire  $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ ,

- 1) Combien de charges élémentaires porte la baguette ?
- 2) Quelle est la valeur de la charge électrique portée par la peau de chat ?
- 3) La baguette de verre est capable d'attirer une petite bille d'aluminium suspendue à l'aide d'un fil. Expliquer pourquoi. (il est possible de représenter les charges sur le schéma)

### Exercice 2: L'atome d'hydrogène.

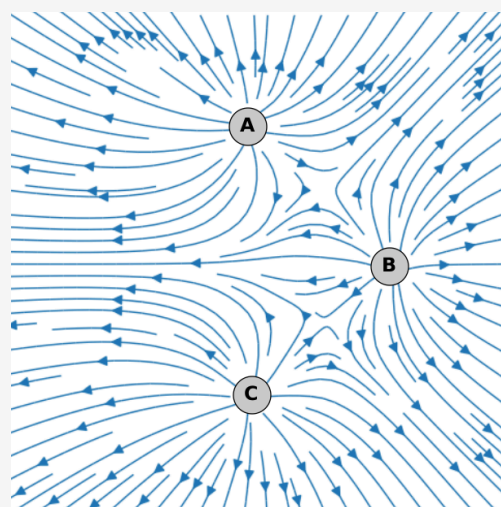
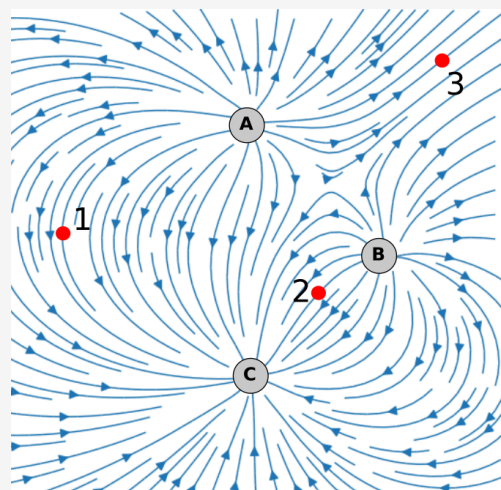
L'atome d'hydrogène est constitué d'un proton de charge  $+e$  et de masse  $1,67 \times 10^{-27} \text{ kg}$  autour duquel se trouve un électron de charge  $-e$  et de masse  $9,11 \times 10^{-31} \text{ kg}$ . La distance moyenne entre les deux particules est de  $53 \text{ pm}$ .

**Données:** Les constantes fondamentales sont notées dans le cours.  $1 \text{ pm (pico)} = 10^{-12} \text{ m}$

- 1) Quel est la direction et le sens de la force gravitationnelle exercée par le proton sur l'électron ?
- 2) Calculer sa valeur.
- 3) Quelle est la direction et le sens de la force électrostatique exercée par le proton sur l'électron ?
- 4) Calculer sa valeur.
- 5) Comparer les valeurs des deux forces et conclure.

### Exercice 3: Champs électrostatiques

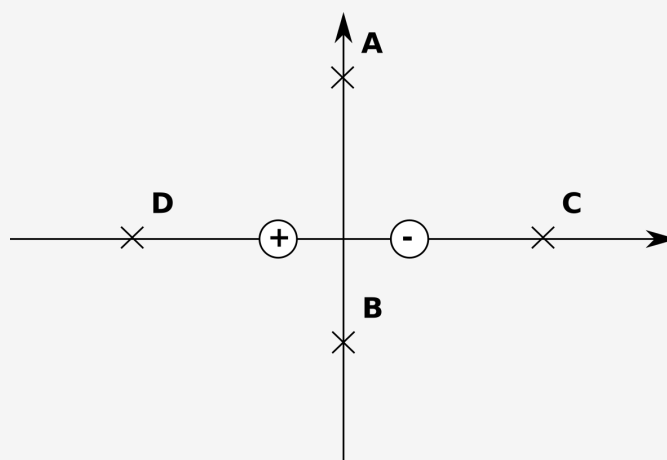
On dispose 3 charges notées A, B et C., déterminer leurs signes pour les deux situations ci-contre (les traits sont des lignes de champs).



Représenter sans échelle :

- le vecteur champ électrostatique au point 1.
- la force exercée sur une charge positive que l'on place au point 2.
- la force exercée sur une charge négative placée au point 3.

### Exercice 4: Champ d'un dipôle

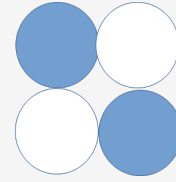
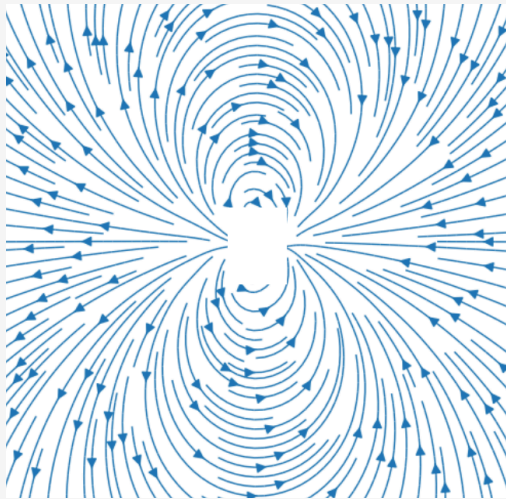


Un dipôle est constitué de deux charges de signes opposés proches l'une de l'autre (voir schéma). On cherche



à déterminer la direction et le sens du champ électrostatique en quelques points.

- 1) Représenter (sans échelle) le champ  $\vec{E}_1$  créé par la charge positive au point A.
- 2) Représenter le champ  $\vec{E}_2$  créé par la charge négative au point A de façon cohérente.
- 3) Représenter le champ des deux charges en A en construisant  $\vec{E}_1 + \vec{E}_2$
- 4) Procéder de la même façon pour le point B.
- 5) Tracer approximativement les champs en C et D.
- 6) Comparer vos réponses avec les lignes de champ du document ci-dessous et conclure.



Le proton et le neutron ont une même masse  $m = 1,67 \cdot 10^{-27}$  kg et un même rayon  $R = 1,2 \cdot 10^{-15}$  m

**Données:** Charge élémentaire :  $e = 1,60 \cdot 10^{-19}$  C. Les constantes fondamentales sont dans le cours.

- 1) Montrer, à l'aide du schéma, que la distance entre un proton et un neutron est  $2R$  alors que la distance entre deux protons est  $2\sqrt{2}R$
- 2) Calculer la valeur de la force électrostatique entre 2 protons. Est-elle attractive ou répulsive ?
- 3) Pourquoi n'y a-t-il pas d'interaction électrostatique entre le proton et le neutron ?
- 4) Calculer la valeur de la force gravitationnelle entre 2 protons. Est-elle attractive ou répulsive ?
- 5) Pourquoi l'interaction gravitationnelle est la même entre un proton et un neutron ?
- 6) Dans ce noyau, l'interaction électrostatique est bien plus grande que l'interaction gravitationnelle. Que devrait-il se passer ?

#### Exercice 5: Champ gravitationnel terrestre.

**Données :** Masse de la Terre  $m_T = 5,97 \times 10^{24}$  kg,  
Le rayon de la Terre est de 6380 km.

- 1) Écrire l'expression vectorielle de la force gravitationnelle exercée par la Terre T de masse  $m_T$  sur un point P de masse  $m$ . On notera  $\vec{u}$  le vecteur unitaire dirigé de P vers T
- 2) En déduire l'expression vectorielle du champ gravitationnel exercée par la Terre au point M.
- 3) Calculer la valeur du champ gravitationnel au niveau du sol (altitude 0), et à 10 km d'altitude, puis conclure.
- 4) À quelle altitude le champ de gravitation est deux fois plus petit qu'au niveau du sol ?

#### Exercice supplémentaire :

##### Exercice 6: Le noyau d'hélium

Le noyau d'hélium est constitué de 2 protons et 2 neutrons que l'on suppose sphériques et au contact avec les centres dans le même plan comme sur le schéma ci-contre.