

### Extrait du programme

**Partie II** : Mouvement et interactions.

**Chapitre II.1** : Interactions fondamentales et introduction à la notion de champ.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Charge électrique, interaction électrostatique, influence électrostatique. Loi de Coulomb. Force de gravitation et champ de gravitation. Force électrostatique et champ électrostatique.	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. <i>Illustrer l'interaction électrostatique. Cartographier un champ électrostatique.</i>

### 1 Rappel : but de la mécanique

La mécanique est la science qui a pour but d'étudier le mouvement d'un corps en fonction de ses interactions avec le monde extérieur.

Il est donc nécessaire de pouvoir connaître la nature des interactions que des corps peuvent avoir entre eux, et ensuite de découvrir comment ces interactions ont une influence sur le mouvement d'un corps.

Il n'existe que 4 forces fondamentales permettant de modéliser toutes les interactions possibles. Nous connaissons déjà l'interaction gravitationnelle qui intervient entre des corps massiques. Nous allons cette année découvrir l'interaction électrostatique qui intervient entre des corps portant une charge électrique.

### 2 Interaction gravitationnelle

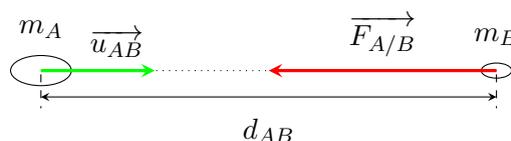
Deux corps massiques subissent une interaction attractive modélisée par la **force de gravitation universelle**.

C'est une force dirigée selon la droite qui lie le centre des deux corps et dont l'intensité est proportionnelle au produit des masses, et inversement proportionnelle au carré de la distance qui sépare les corps.

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

Unités :

- $F$  en N (Newton)
- $G = 6,67 \cdot 10^{-11}$  USI (Unité du Système International :  $\text{N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$ )
- $m$  en kg
- $d$  en m



### 3 Charge électrique et interaction électrostatique

La matière est constituée d'atomes électriquement neutres, mais il est possible dans certaines conditions de transférer des électrons (ajout, suppression ou déplacement) et d'obtenir des corps chargés.

- On peut par exemple **électriser un corps isolant par frottement** avec certains matériaux. En fonction de la nature des matériaux mis en jeu des charges positives ou négatives peuvent apparaître sur chaque corps. (ex : cheveux frottés par un pullover).
- Si on approche un corps A chargé d'un autre corps B conducteur (ex : métal), des charges positives et négatives apparaissent sur ce corps B (qui reste globalement électriquement neutre) : c'est l'**électrisation par influence**. Des électrons du corps B se sont approchés vers le corps A s'il était chargé positivement, ou bien se sont au contraire éloignés du corps A s'il était chargé négativement.
- Enfin, les électrons peuvent circuler librement sur un conducteur et **par contact, on peut transférer des électrons d'un corps vers un autre**.

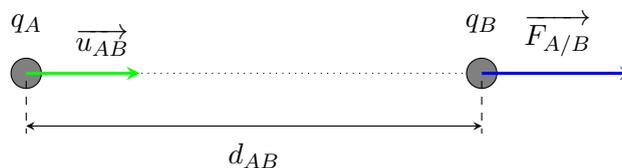
Ces expériences permettent de montrer que **deux corps chargés subissent une interaction qui peut être attractive ou répulsive**. Cette interaction est modélisée par la **force électrostatique**. Pour deux particules chargées, la force électrostatique est dirigée selon la droite qui lie les deux particules et son intensité est proportionnelle au produit des charges, et inversement proportionnelle au carré de la distance qui sépare les corps. Ceci est exprimée par la **loi de Coulomb** :

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

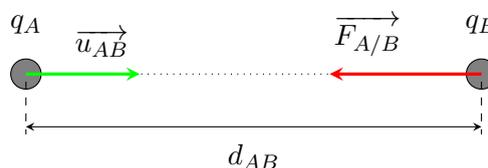
Unités :

- $F$  en N
- $k = 9,0 \cdot 10^9$  USI (Unité du Système International :  $\text{N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}$ )
- $q$  en C (Coulomb) ; (attention  $q$  peut être positif ou négatif)
- $d$  en m

- Charges de même signe : interaction **répulsive** :



- Charges de signes opposés : interaction **attractive** :



**Comparaison avec la force de gravitation :**

- On retrouve une force dirigée selon les corps qui interagissent.
- Les deux forces sont inversement proportionnelles au carré de la distance.
- Elles sont toutes deux proportionnelles au produit des masses ou des charges en interaction.



## 4 Champs et forces

### 4.1 Notion de champ

Les forces de gravitation ou électrostatique peuvent être reformulées à l'aide de la notion de champ vectoriel gravitationnel ou électrostatique.

Un **champ vectoriel** est une **propriété physique définie en tout point de l'espace et caractérisée par un vecteur** (direction, sens, norme).

*Exemple simple* : le vent peut être défini par un champ vectoriel : en chaque point de l'espace, il est en effet caractérisé par sa direction, son sens et son intensité. Il peut être mis en évidence par la déformation d'une manche à air.

On définit les **lignes de champ** qui sont des lignes en tout point **tangentes au vecteur du champ vectoriel** (ex : lignes de courant marin). Elles sont **orientées dans le sens du champ**.

### 4.2 Lien entre champ et force

Une particule de masse  $m$  est sensible au champ de gravitation  $\vec{\mathcal{G}}$  : elle subit une force gravitationnelle :

$$\vec{F}_g = m \times \vec{\mathcal{G}}$$

La valeur du champ de gravitation  $\mathcal{G}$  s'exprime en  $\text{N} \cdot \text{kg}^{-1}$ .

De façon similaire, une particule de charge  $q$  est sensible au champ électrostatique  $\vec{E}$  : elle subit une force électrostatique :

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

La valeur du champ électrostatique  $E$  s'exprime le plus souvent en  $\text{V} \cdot \text{m}^{-1}$  (équivalent à  $\text{N} \cdot \text{C}^{-1}$ ).

### 4.3 Sources de champs

Ces champs sont créés par des sources qui confèrent ces propriétés physiques particulières à l'espace.

**Une simple masse est une source de champ de gravitation**, c'est-à-dire qu'elle modifie les propriétés physiques de l'espace dans son environ en créant un tel champ.

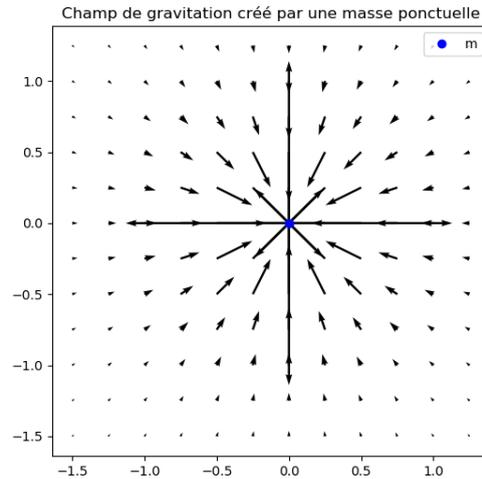
En comparant l'expression de la force de gravitation entre deux masses  $m$  et  $M$  et l'expression de la force de gravitation subie par une masse  $m$  dans un champ de gravitation  $\vec{\mathcal{G}}$ , on peut déduire l'expression du champ de gravitation créé par la masse  $M$  :

$$\vec{F}_{M/m} = -G \times \frac{m \times M}{d^2} \vec{u} = m \times \vec{\mathcal{G}}$$

$$\vec{\mathcal{G}} = -\frac{G \times M}{d^2} \vec{u}$$

Ce champ de gravitation pointe toujours vers la masse  $M$  et il décroît en intensité proportionnellement au carré de la distance à la source  $M$ .

Il est intéressant de pouvoir cartographier ces champs pour connaître les forces que subiront une masse ou une charge dans un environnement donné. On peut aider la visualisation d'un champ en présentant ses lignes de champs.



*Remarque* : la décroissance rapide de la valeur du champ avec la distance à la source rend difficile sa représentation à cause des soucis d'échelle.

De façon analogue, **une particule chargée est source d'un champ électrostatique.**

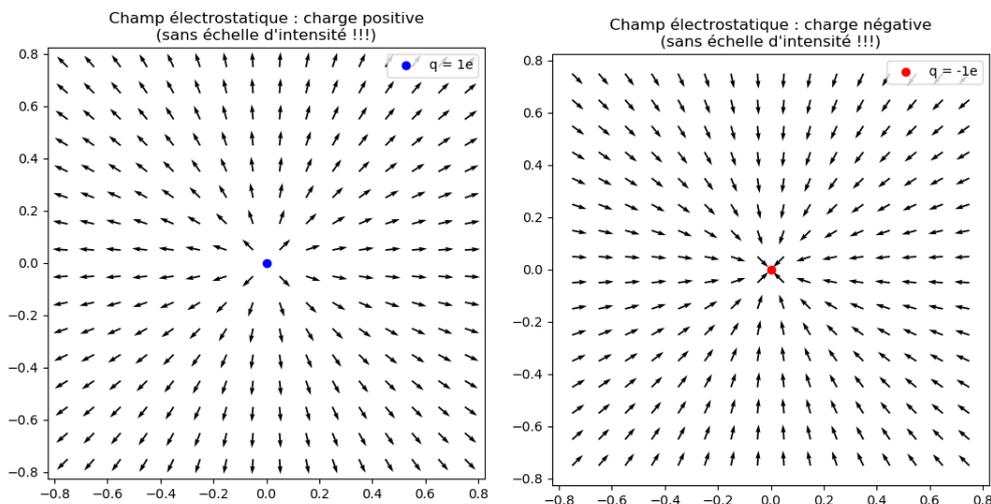
*Remarque* ; en combinant plusieurs particules chargées, on peut obtenir des champs électrostatiques d'allure complexe.

En comparant l'expression de la force électrostatique entre deux charges  $q$  et  $Q$  et l'expression de la force électrostatique subie par une charge  $q$  dans un champ électrostatique  $\vec{E}$ , on peut déduire l'expression du champ électrostatique créé par la charge  $Q$  :

$$\vec{F}_{Q/q} = k \times \frac{q \times Q}{d^2} \vec{u} = q \times \vec{E}$$

$$\vec{E} = \frac{k \times Q}{d^2} \vec{u}$$

Ce champ électrostatique pointe vers la charge  $Q$  lorsque celle-ci est négative et pointe « vers l'extérieur » pour une charge positive. Il décroît en intensité proportionnellement au carré de la distance à la source  $Q$ .



*Remarque* : Sur ces documents, on n'a pas représenté les vecteurs avec leur vraie longueur pour des soucis de lisibilité. Cela permet en outre de bien percevoir les lignes de champs.