

Chapitre 08-Interactions fondamentales et notion de champ

DANS ce chapitre, on rentre dans le domaine très vaste de la physique appelé la **Mécanique**. La mécanique correspond à l'étude du mouvement d'un système dans un référentiel donné, comme vu en classe de seconde. Ici on se propose de définir et de décrire les quatre interactions fondamentales, en détaillant plus précisément les cas de l'interaction gravitationnelle et de l'interaction électrostatique. Nous verrons également la définition de ce qu'est un champ gravitationnel et un champ électrique.

8.1 Interactions fondamentales

Dans l'univers, il existe quatre grandes interactions dites fondamentales, à l'origine de tous les phénomènes physiques que l'on peut observer :

- L'interaction gravitationnelle
- L'interaction électromagnétique
- L'interaction nucléaire forte
- L'interaction nucléaire faible

Nous ne détaillerons dans ce cours que l'interaction gravitationnelle, ainsi que l'interaction électrostatique (qui fait partie de l'interaction électromagnétique).

L'interaction nucléaire forte est celle qui assure notamment la cohésion des nucléons au sein d'un noyau atomique. Cet aspect sera mentionné lors d'un exercice.

L'interaction nucléaire faible joue un rôle dans les réactions nucléaires. Le domaine de la radioactivité est abordé dans le cours d'enseignement scientifique de première, et sera approfondi dans la spécialité physique-chimie en terminale.

L'interaction gravitationnelle est une interaction attractive qui existe entre deux corps dès lors qu'ils sont constitués de matière, donc qu'ils possèdent une masse.

L'interaction électromagnétique est celle qui existe entre deux corps dès lors qu'ils possèdent une charge électrique. Cette interaction peut être attractive ou répulsive en fonction du signe de la charge des corps. Nous nous intéresserons dans ce cours à l'interaction électrostatique qui ne concerne que les phénomènes engendrés par des charges électriques statiques.

Toutes ces interactions ont une portée limitée. C'est-à-dire que selon l'échelle à laquelle on se situe, l'une ou l'autre de ces interactions prendra le pas sur les autres.

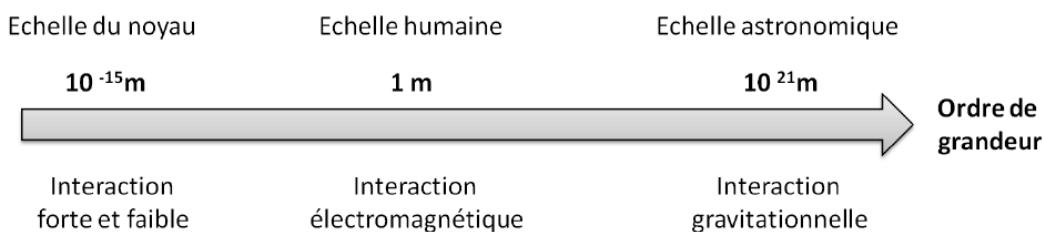


Figure 8.1 – Echelles associées aux interactions fondamentales

8.2 Interactions électrostatique et gravitationnelle

8.2.1 Interaction électrostatique

L'interaction électrostatique est celle qui intervient entre deux corps immobiles et électriquement chargés. On rappelle que l'**unité de la charge est le Coulomb (C)**. Cette interaction est **attractive** lorsque les deux charges sont de **signes opposés**, et **réciproque** lorsque les deux charges sont de **même signe**.

Loi de Coulomb : Force électrostatique

La force électrostatique $\vec{F}_{eA/B}$ exercée par un corps A de charge q_A sur un corps B de charge q_B est donnée par la loi de Coulomb suivante :

$$\vec{F}_{eA/B} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_A q_B}{d^2} \vec{u}$$

$\frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 8,99 \cdot 10^9 \text{ N.m}^2.\text{C}^{-2}$ la constante de Coulomb. ϵ_0 est appelée la permittivité électrique du vide.

d est la distance séparant les deux corps chargés A et B (en m)

\vec{u} est le vecteur unitaire dirigé de A vers B

$\vec{F}_{eA/B}$ est la force électrostatique exercée par A sur B (en N)

Remarque : D'après la troisième loi de Newton, B exerce sur A une force électrostatique de sens opposé : $\vec{F}_{B/A} = -\vec{F}_{A/B}$

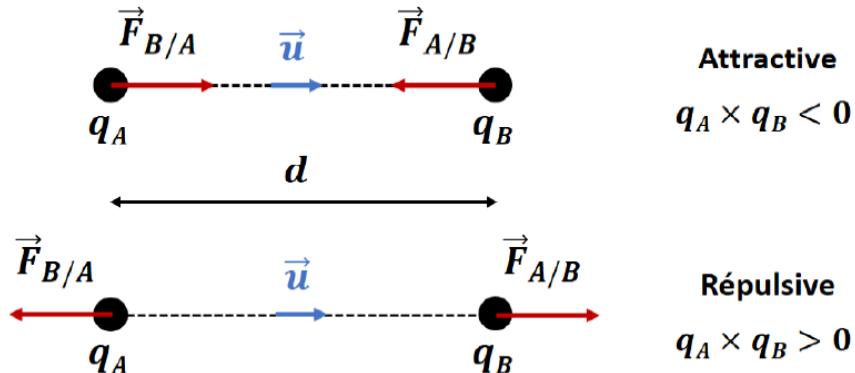


Figure 8.2 – Schémas représentant l'interaction électrostatique entre deux corps chargés A et B , dans le cas où les charges sont de signes opposés (interaction attractive) ou de même signe (interaction répulsive).

Exemple : Deux électrons de charge élémentaire $e = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ et distants de $d = 7,8 \cdot 10^{-10} \text{ m}$ exercent l'un sur l'autre une force électrostatique de norme :

$$F = \|\vec{F}_{A/B}\| = \|\vec{F}_{B/A}\| = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{|(-e)(-e)|}{d^2} = 3,8 \cdot 10^{-10} \text{ N}$$

K = 1/4πε₀ = 9,0 x 10⁹ N.m².C⁻² ; constante électrostatique (constante de Coulomb)

8.2.2 Interaction gravitationnelle

L'interaction gravitationnelle est celle qui intervient entre deux corps possédant une masse. Cette interaction est **toujours attractive** puisque par définition une masse est toujours positive.

Force gravitationnelle

La force gravitationnelle $\vec{F}_{gA/B}$ exercée par un corps A de masse m_A sur un corps B de masse m_B est donnée par la formule suivante :

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

$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N.m}^2.\text{kg}^{-2}$ la constante gravitationnelle

d est la distance séparant les deux corps A et B (en m)

\vec{u} est le vecteur unitaire dirigé de A vers B

$\vec{F}_{gA/B}$ est la force gravitationnelle exercée par A sur B (en N)

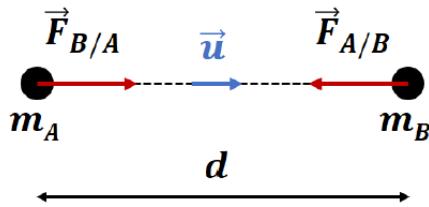


Figure 8.3 – Schéma représentant l'interaction gravitationnelle entre deux corps A et B .

Remarque : D'après la troisième loi de Newton, B exerce sur A une force gravitationnelle de sens opposé : $\vec{F}_{B/A} = -\vec{F}_{A/B}$

Exemple : Deux corps de masses respectives $m_A = 1,2 \cdot 10^{20} \text{ kg}$ et $m_B = 9,5 \cdot 10^{21} \text{ kg}$ distants de $d = 3,0 \cdot 10^8 \text{ m}$ exercent l'un sur l'autre une force gravitationnelle de norme :

$$F = \|\vec{F}_{A/B}\| = \|\vec{F}_{B/A}\| = G \frac{m_A m_B}{d^2} = 8,4 \cdot 10^{14} \text{ N}$$

8.3 Champs et lignes de champ

Un champ est une grandeur physique qui peut être définie par un nombre (champ scalaire) ou un vecteur (champ vectoriel). Dans le cas de l'interaction gravitationnelle et électrostatique, la notion de champ est précisément celle qui va permettre d'exprimer le pouvoir attracteur (ou répulseur) d'un corps de masse m (pour l'interaction gravitationnelle) ou bien de charge q (pour l'interaction électrostatique).

8.3.1 Champ gravitationnel

Tout corps A de masse M génère dans l'espace qui l'entoure un champ vectoriel gravitationnel noté \vec{g} . Si un autre corps B de masse m est placé à une distance d de A , alors il va subir une force d'attraction gravitationnelle de la forme :

$$\vec{F}_g = m\vec{g} = -G \frac{m M}{d^2} \vec{u}$$

On en déduit alors le champ de gravitation \vec{g} :

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

Exemple : Le champ gravitationnel \vec{g} créé par la Terre en un point situé à sa surface est dirigé vers le centre de la Terre et la norme du champ vaut : $g = G \frac{M_T}{R_T^2} = 9,81 \text{ m.s}^{-2}$ où $M_T = 5,97 \cdot 10^{24} \text{ kg}$ est la masse de la Terre, et $R_T = 6400 \text{ km}$ le rayon de la Terre.

8.3.2 Champ électrostatique

Tout corps A de charge Q génère dans l'espace qui l'entoure un champ vectoriel électrostatique noté \vec{E} . Si un autre corps B de charge q est placé à une distance d de A , alors il va subir une force d'attraction électrostatique de la forme :

$$\vec{F}_e = q \vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q Q}{d^2} \vec{u}$$

On en déduit alors le champ électrostatique \vec{E} :

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{d^2} \vec{u}$$

8.3.3 Analogie entre gravitation et électrostatique

On constate que les forces et champs gravitationnel et électrostatique fonctionnent de manière analogue, notamment ils sont tous deux inversement proportionnels au carré de la distance.

| Analogie Gravitation - Electrostatique | |
|----------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| $\vec{F}_g = m\vec{g}$ | $\vec{F}_e = q\vec{E}$ |
| $\vec{g} = -G \frac{M}{d^2} \vec{u}$ | $\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{d^2} \vec{u}$ |
| $g \propto \frac{M}{d^2}$ | $E \propto \frac{q}{d^2}$ |

8.3.4 Lignes de champs

Puisque le champ représente l'influence d'un corps (gravitationnel ou électrostatique) dans l'espace qui l'entoure, on peut le « cartographier ». Il s'agit de réaliser une carte vectorielle représentant en tout point le vecteur champ en tenant compte de sa norme, sa direction et son sens.

On définit également les **lignes de champ**. Ce sont des lignes qui relient les différents points de l'espace de sorte à ce que le vecteur champ soit toujours **tangent** aux lignes de champ.

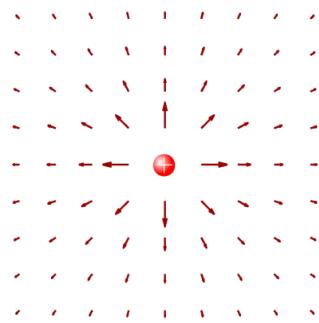


Figure 8.4 – Carte de champ électrostatique créé par une particule chargée positivement

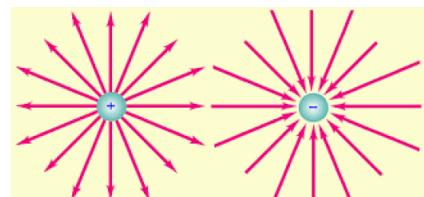


Figure 8.5 – Lignes de champ électrostatique dans le cas d'une charge positive (à gauche) et négative (à droite)