

## Chapitre 10 - Interactions fondamentales

Manuel pages 164 à 179

### Choix pédagogiques

Ce chapitre doit présenter les quatre interactions fondamentales ; les élèves connaissent, depuis le collège, l'interaction gravitationnelle et elle a été revue en classe de seconde. L'interaction électromagnétique sera à nouveau abordée dans le programme dans un chapitre de chimie « Cohésion des solides ioniques et moléculaires ». Les élèves découvrent les deux autres interactions.

Cette présentation, à la fois qualitative et quantitative (pour deux d'entre elles) de ces interactions, doit permettre aux élèves de comprendre les stabilités et les évolutions physiques et chimiques de la matière.

*Des animations et des simulations ont été créées pour illustrer ce chapitre et aider à sa compréhension. Elles sont disponibles dans le manuel numérique enrichi.*

### Double page d'ouverture

#### La matière à différentes échelles

L'objectif de ces photos est de faire discuter les élèves sur les différents ordres de grandeur de chacun des édifices présentés : la Terre ( $10^7$  m), un être humain (1m) et une cellule ( $10^{-5}$  –  $10^{-6}$  m).

Cette notion a déjà été vue en classe de seconde. Les élèves devraient donc savoir ce qu'est un ordre de grandeur et connaître des exemples.

#### Photographie des traces formées par le passage de particules élémentaires dans une chambre à bulles

Une chambre à bulles est un détecteur de particules qui est formé d'une cuve contenant de l'hydrogène liquide. La chambre est placée dans un champ magnétique important qui influe sur la trajectoire de la particule. Son passage dans cette cuve se traduit par la formation de bulles le long de sa trajectoire. Les caractéristiques de la trajectoire permettent ensuite de déduire la masse et la charge de la particule. L'interrogation peut, dans un premier temps, se porter sur les particules élémentaires puis ensuite sur les grandeurs qui les caractérisent.

#### Expérience d'électrisation

Lors de la description de la photographie, les élèves doivent remarquer que les jeunes filles se tiennent la main et supposer que celle avec le pull a sa main posée sur une boule métallique.

Le professeur peut les interroger sur les phénomènes d'électrisation observés dans la vie courante (décharge ressentie en refermant la portière d'un véhicule, hérissément des cheveux lorsqu'on retire un pull).

Il peut ainsi introduire la notion d'électrisation par contact et par frottement.

## Découvrir et réfléchir

### Activité expérimentale 1. Des phénomènes surprenants

#### Commentaire

Si le temps est humide, les expériences peuvent être difficiles.

#### Réponses

##### 1. Observer

**Étape 1** : la boule est attirée par la baguette de verre préalablement frottée avec un tissu de laine.

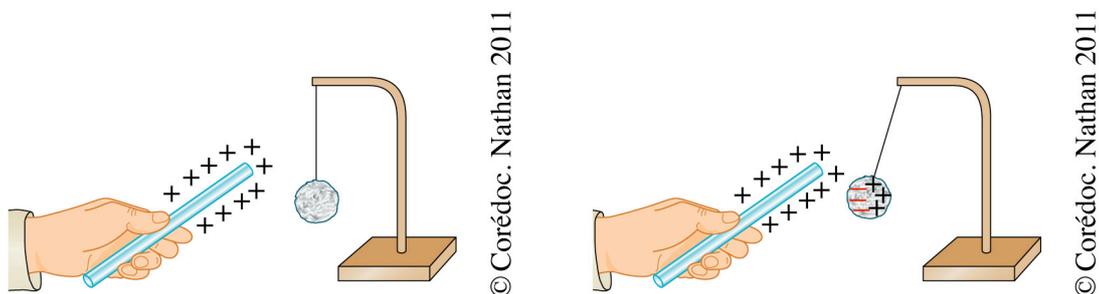
**Étape 2** : la boule chargée est repoussée par la baguette de verre préalablement frottée avec un tissu de laine.

**Étape 3** : la boule chargée est attirée par la règle en polymère préalablement frottée avec un tissu de laine.

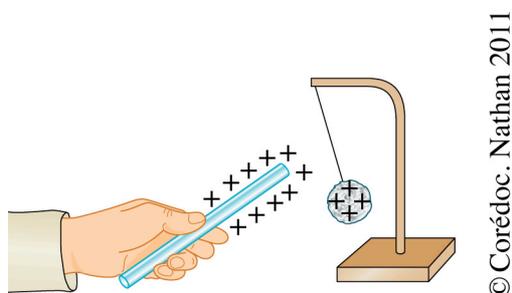
##### 2. Interpréter

a. On approche d'un pendule une baguette de verre électrisée par frottement (figure de gauche).

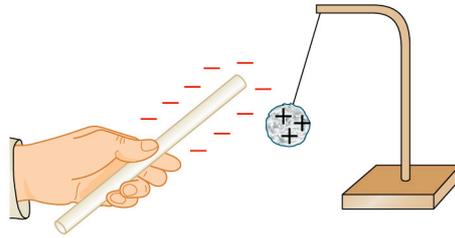
L'approche de la baguette électrisée a créé une dissymétrie dans la répartition des charges, c'est le phénomène d'influence (figure de droite).



b. La boule, après contact avec la baguette de verre électrisée, est chargée positivement comme la baguette. C'est le phénomène d'électrisation par contact.



c. La boule est chargée positivement, la règle en matériau polymère négativement.



© Corédoc. Nathan 2011

### 3. Conclusion

L'interaction électrique peut être répulsive (**étape 2**) ou attractive (**étape 3**)

## Activité documentaire 2. Les interactions fondamentales

**Commentaires.** L'activité 2 et 3 sont complémentaires, la première présente les quatre interactions de manière qualitative, la seconde se focalise sur l'interaction gravitationnelle et l'interaction électromagnétique de manière quantitative.

### Réponses

#### 1. Comprendre le texte

- Interaction gravitationnelle (ligne 3), interaction électromagnétique (ligne 6), interaction forte (ligne 14) et interaction faible (ligne 16).
- L'interaction gravitationnelle s'exerce entre des objets tels que ceux de la vie quotidienne jusqu'aux planètes. Sa portée est infinie et elle est attractive (lignes 3 à 5).
- L'interaction électromagnétique a une portée infinie, mais elle est tantôt attractive, tantôt répulsive (ligne 7).
- L'interaction forte s'exerce entre les particules du noyau, elle est de courte portée ( $10^{-15}$  m) et elle est attractive (lignes 10 à 15).
- L'interaction faible a une portée de l'ordre de  $10^{-18}$  m (ligne 18).

#### 2. Interpréter

- L'interaction gravitationnelle prédomine à l'échelle astronomique, l'interaction électromagnétique à l'échelle humaine, et les interactions forte et faible à l'échelle du noyau des atomes.
- $10^{-15}$  m : l'ordre de grandeur de la dimension d'un noyau.  
 $10^{-18}$  m : 1 000 fois inférieur à la dimension d'un noyau, pas d'objet connu (voir la notion de quark, page 179).

#### 3. Conclure

Interaction	Portée	Répulsif ou attractif
gravitationnelle	infinie	attractif
électromagnétique	infinie	répulsif ou attractif
forte	$10^{-15}$ m	attractif
faible	$10^{-18}$ m	---

**Activité documentaire 3. Comparer deux interactions**

**Commentaire**

L'interaction électromagnétique s'exerce entre deux corps possédant une charge électrique : l'interaction est à la fois de nature électrique et magnétique. L'interaction électrique est décrite par la loi de Coulomb.

**Réponses**

**1. Comprendre le texte**

a. L'interaction gravitationnelle et l'interaction électromagnétique ont une portée illimitée (ligne 2).

b. L'interaction électromagnétique n'intervient pas à l'échelle astronomique car la matière est globalement neutre.

L'interaction gravitationnelle prédomine à cette échelle (lignes 10 à 13).

**2. Interpréter**

a.  $\frac{F_E}{F_G} = 10^{42}$ .

b.  $F_G = G \frac{m_e \times m_e}{d^2} = 6,67 \times 10^{-11} \times \frac{9,10 \times 10^{-31} \times 9,10 \times 10^{-31}}{(1,0 \times 10^{-10})^2} = 5,5 \times 10^{-51} \text{ N}$ .

c.  $F_E = k \frac{|q_A||q_B|}{d^2} = 9,0 \times 10^9 \times \frac{|-1,60 \times 10^{-19}| \times |1,60 \times 10^{-19}|}{(1,0 \times 10^{-10})^2} = 2,3 \times 10^{-8} \text{ N}$ .

$\frac{F_E}{F_G} = \frac{2,3 \times 10^{-8}}{5,5 \times 10^{-51}} = 4,2 \times 10^{42}$ .

L'ordre de grandeur du rapport des valeurs des forces est de  $10^{42}$ , on retrouve le résultat de la question a.

**3. Conclure**

	Portée	Échelle où l'interaction prédomine	Attractif ou répulsif	Expression de la valeur des forces
<b>Interaction gravitationnelle</b>	infinie	astronomique	attractif	$F_{A/B} = F_{B/A} = G \frac{m_A m_B}{d^2}$ $m_A$ et $m_B$ en kg, $d$ en m, $F_{A/B}$ et $F_{B/A}$ en N, $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$ .
<b>Interaction électromagnétique</b>	infinie	humaine	attractif ou répulsif	$F_{A/B} = F_{B/A} = k \frac{ q_A  q_B }{d^2}$ $q_A$ et $q_B$ en C, $d$ en m, $F_{A/B}$ et $F_{B/A}$ en N, $k = 9,0 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}$ dans le vide.

## Exercices

### Exercices d'application

#### 5 minutes chrono !

#### 1. Mots manquants

- a.  $10^{-15}$  m
- b. un électron
- c. de neutrons
- d. la charge élémentaire  $e$
- e. chargées
- f. du noyau atomique

#### 2. QCM

- a.  $10^7$  m.
- b.  $10^{-27}$  kg.
- c. De protons et de neutrons.
- d. Des électrons.
- e.  $k \frac{|q_A||q_B|}{d^2}$ .
- f. Toujours attractive.
- g. Répulsive ou attractive.

### Mobiliser ses connaissances

#### La matière à différente échelle (§1 du cours)

- 3.  $10^2$  m / hauteur de la Tour Eiffel
- $10^{-2}$  m / taille d'une coccinelle
- $10^{-15}$  m / diamètre d'un noyau atomique
- $10^{-10}$  m / diamètre d'un atome
- $10^{11}$  m / distance Terre-Soleil

---

#### Constitution des édifices de l'Univers (§2 du cours)

- 4. Dans un clou en fer, on trouve  $26 \times 10^{22}$  protons,  $30 \times 10^{22}$  neutrons et  $26 \times 10^{22}$  électrons.

- 
- 5. a.

Symbole du noyau	Nombre de protons	Nombre de neutrons	Nombre d'électrons dans l'atome
${}_{18}^{40}\text{Ar}$	18	22	18
${}_{15}^{31}\text{P}$	15	16	15
${}_{53}^{127}\text{I}$	53	74	53
${}_{50}^{120}\text{Sn}$	50	70	50

b. Composition de l'atome de fer : 26 protons, 30 neutrons et 26 électrons.  
 Composition de l'ion fer (II) : 26 protons, 30 neutrons et 24 électrons.

**Charge des édifices de l'Univers (§3 du cours)**

6. La valeur de la charge du noyau de mercure est :

$$q_{\text{noyau}} = Ze = 80 \times 1,60 \times 10^{-19} = 1,28 \times 10^{-17} \text{ C.}$$

7. L'objet électrisé est chargé négativement, ce sont donc les électrons qui sont responsables de cette charge.

$$\text{Nombre d'électrons} = \frac{|q|}{e} = \frac{|-8,0 \times 10^{-10}|}{1,60 \times 10^{-19}} = 5,0 \times 10^9.$$

**Interactions fondamentales (§4 du cours)**

8.

	Interaction gravitationnelle	Interaction électrique
Grandeur physique sensible à cette force	particule de masse non nulle	particule chargée
Portée	infinie	infinie
Attractive/répulsive (préciser les cas)	attractive	attractive (si les charges sont de signe contraire) répulsive (si les charges sont de même signe)
Expression de la valeur des forces (préciser les unités)	$F_{A/B} = F_{B/A} = G \frac{m_A m_B}{d^2}$ $m_A$ et $m_B$ en kg, $d$ en m, $F_{A/B}$ et $F_{B/A}$ en N, $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N}\cdot\text{m}^2\cdot\text{kg}^{-2}$	$F_{A/B} = F_{B/A} = k \frac{ q_A  q_B }{d^2}$ $q_A$ et $q_B$ en C, $d$ en m, $F_{A/B}$ et $F_{B/A}$ en N, $k = 9,0 \times 10^9 \text{ N}\cdot\text{m}^2\cdot\text{C}^{-2}$ dans le vide

Utiliser ses compétences

9. La valeur de la force gravitationnelle exercée par la Terre sur le satellite est :

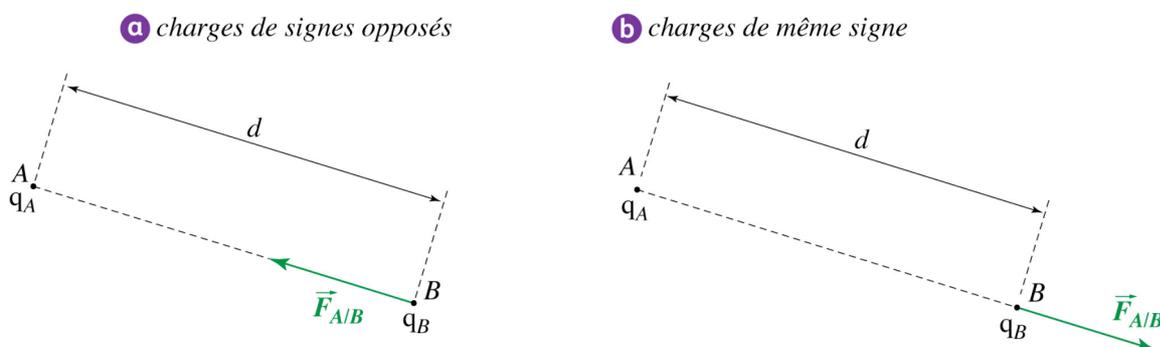
$$F_{T/Sa} = G \frac{m \times M_T}{(R_T + h)^2};$$

$$F_{T/Sa} = 6,67 \times 10^{-11} \times \frac{4,1 \times 10^3 \times 5,97 \times 10^{24}}{(6,38 \times 10^6 + 820 \times 10^3)^2} = 3,1 \times 10^4 \text{ N.}$$

10. La valeur de la force électrique qu'exerce A sur B est :

$$F_{A/B} = k \frac{|q_A| |q_B|}{d^2} \text{ soit } F_{A/B} = 9,0 \times 10^9 \times \frac{|2,0 \times 10^2 \times 10^{-9}| \times |-4,0 \times 10^2 \times 10^{-9}|}{(7,5 \times 10^{-2})^2} = 1,3 \times 10^{-1} \text{ N.}$$

11. Échelle : 1 cm pour  $1,0 \times 10^{-8}$  N : la longueur du segment fléché est de 2,3 cm.



12. a. Le bâton est chargé positivement  $q = 30\text{nC}$ . Donc des électrons lui ont été arrachés par le morceau de laine.

b. Le nombre  $x$  de particules échangées se traduit par :  $x = \frac{q}{e}$ .

$$x = \frac{30 \times 10^{-9}}{1,60 \times 10^{-19}} = 1,9 \times 10^{11}$$

Le résultat ne comporte que deux chiffres significatifs.

c. Les électrons arrachés au bâton sont sur la laine, elle est donc électrisée négativement.

Exercices d'entraînement

13. Exercice résolu

14. a.  $A = \frac{m}{m_{\text{nucleon}}} = \frac{2,29 \times 10^{-25}}{1,67 \times 10^{-27}} = 137.$

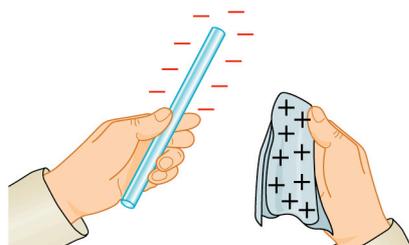
b.  $Z = \frac{q}{e} = \frac{8,8 \times 10^{-18}}{1,60 \times 10^{-19}} = 55.$

c. C'est un noyau de césium  ${}^{137}_{55}\text{Cs}$ .

15. a. Les cheveux s'électrisent par frottement. Ensuite ils se repoussent car ils portent des charges électriques de même signe.  
b. La voiture s'électrise par frottement. Le corps humain étant conducteur, l'automobiliste reçoit une « décharge » lorsqu'il pose les pieds au sol et qu'il touche sa portière.

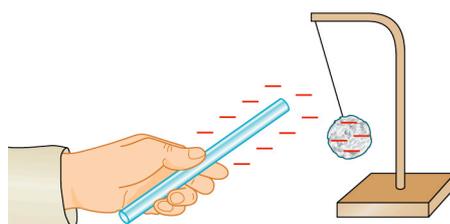
16. Une vidéo sur le pendule électrostatique est disponible dans le manuel enrichi pour illustrer cet exercice.

- a. Lors du frottement avec la laine, la tige arrache des électrons à la laine. La tige a donc un excès d'électrons et est chargée négativement.



© Corédoc. Nathan 2011

- b. La boule est repoussée par la tige électrisée car après contact ces deux objets ont la même charge.



© Corédoc. Nathan 2011

17. a.  $F_1 = G \frac{m_B M_T}{\left(\frac{D}{2}\right)^2}$  donc  $F_1 = 6,67 \times 10^{-11} \times \frac{650 \times 10^{-3} \times 5,97 \times 10^{24}}{\left(\frac{1,276 \times 10^4 \times 10^3}{2}\right)^2} = 6,36 \text{ N.}$

b.  $F_2 = G \frac{m_B m_B}{(d)^2}$  donc  $F_2 = 6,67 \times 10^{-11} \times \frac{650 \times 10^{-3} \times 650 \times 10^{-3}}{(1,0)^2} = 2,8 \times 10^{-11} \text{ N.}$

c.  $\frac{F_1}{F_2} = 2,3 \times 10^{11}.$

- d. L'interaction gravitationnelle entre les ballons est négligeable devant l'interaction gravitationnelle entre l'homme et la Terre.

18. a.  $F_{S1/S2} = k \frac{|q_1||q_2|}{d^2}$  soit  $F_{S1/S2} = 9,0 \times 10^9 \times \frac{|-80 \times 10^{-9}| \times |100 \times 10^{-9}|}{(5,0 \times 10^{-2})^2} = 2,9 \times 10^{-2} \text{ N.}$

b.  $F_{S2/S1} = F_{S1/S2} = 2,9 \times 10^{-2} \text{ N.}$

- c. Cette interaction est attractive car les objets portent des charges de signe contraire.

- d. Échelle à utiliser : 1 cm pour  $1,5 \times 10^{-2} \text{ N}$ . La longueur des segments fléchés est de 1,9 cm.

19. a.

Cas	Particule Élémentaire 1		Particule élémentaire 2		Distance entre particules	Valeur de la force électrique	Attractif ou répulsif
	Nom	$q_1$ (C)	Nom	$q_2$ (C)			
<b>A</b>	proton	$1,60 \times 10^{-19}$	proton	$1,60 \times 10^{-19}$	0,60 nm	$6,4 \times 10^{-10}$ N	Répulsif
<b>B</b>	électron	$-1,60 \times 10^{-19}$	électron	$-1,60 \times 10^{-19}$	0,60 nm	$6,4 \times 10^{-10}$ N	Répulsif
<b>C</b>	électron	$-1,60 \times 10^{-19}$	proton	$1,60 \times 10^{-19}$	0,60 nm	$6,4 \times 10^{-10}$ N	Attractif

b. Il s'agit du neutron, seule particule élémentaire non chargée.

20. a. La force gravitationnelle qu'exerce A sur B est :

$$F_{A/B, \text{grav}} = G \frac{m_p m_p}{(2r)^2} \quad \text{soit} \quad F_{A/B, \text{grav}} = 6,67 \times 10^{-11} \times \frac{1,673 \times 10^{-27} \times 1,673 \times 10^{-27}}{(2 \times 1,2 \times 10^{-6} \times 10^{-9})^2} = 3,2 \times 10^{-35} \text{ N.}$$

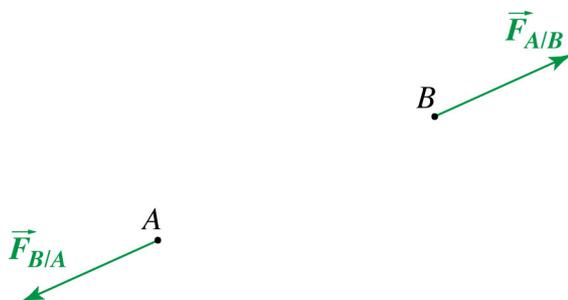
b. La force électrique qu'exerce A sur B est :

$$F_{A/B, \text{elec}} = k \frac{|q_A| |q_B|}{(2r)^2} \quad \text{soit} \quad F_{A/B, \text{elec}} = 9,0 \times 10^9 \times \frac{|1,60 \times 10^{-19}| \times |1,60 \times 10^{-19}|}{(2 \times 1,2 \times 10^{-6} \times 10^{-9})^2} = 40 \text{ N.}$$

c.  $\frac{F_{A/B \text{élec}}}{F_{A/B \text{grav}}} = 1,2 \times 10^{36}$ .

Donc la force gravitationnelle est négligeable devant la force électrique.

d. Échelle : 1 cm pour 20 N. La longueur des segments fléchés est de 2,0 cm.



© Corédoc. Nathan 2011

e. L'interaction électrique est répulsive mais l'interaction forte est attractive et s'exerce entre tous les nucléons chargés ou pas.

Exercices de synthèse

21. a.  $x = \frac{q_{\text{ion}}}{e} = \frac{3,20 \times 10^{-19}}{1,60 \times 10^{-19}} = 2.$

b.  $q_{\text{noyau}} = Ze$  donc  $Z = \frac{q_{\text{noyau}}}{e} = \frac{3,20 \times 10^{-18}}{1,60 \times 10^{-19}} = 20.$

Il s'agit de l'élément calcium de symbole Ca.

c.  $m = Am_{\text{nucléon}}$  donc  $A = \frac{m}{m_{\text{nucléon}}} = \frac{6,7 \times 10^{-23} \times 10^{-3}}{1,67 \times 10^{-27}} = 40.$

d. L'ion calcium :  $\text{Ca}^{2+}.$

22. La distance entre les noyaux d'azote a été corrigée dans le manuel élève : il faut lire  $d = 0,14 \text{ nm}.$

a.  $q = Ze = 7 \times 1,60 \times 10^{-19} = 1,12 \times 10^{-18} \text{ C}.$

b. La valeur de la force électrique exercée par un noyau d'azote sur un autre est :

$$F_{\text{elec}} = k \frac{|q_{\text{noyau}}| |q_{\text{noyau}}|}{d^2} \text{ soit } F_{\text{elec}} = 9,0 \times 10^9 \times \frac{|1,12 \times 10^{-18}| \times |1,12 \times 10^{-18}|}{(0,14 \times 10^{-9})^2} = 5,7 \times 10^{-7} \text{ N}.$$

c. La masse d'un noyau d'azote est  $m_{\text{noyau}} = A \times m_{\text{nucléon}}.$

$$\frac{F_{\text{elec}}}{F_{\text{grav}}} = \frac{k |q_{\text{noyau}}| |q_{\text{noyau}}|}{G m_{\text{noyau}} m_{\text{noyau}}}; \quad \frac{F_{\text{elec}}}{F_{\text{grav}}} = \frac{9,0 \times 10^9 \times |1,12 \times 10^{-18}| \times |1,12 \times 10^{-18}|}{6,67 \times 10^{-11} \times 14 \times 1,67 \times 10^{-27} \times 14 \times 1,67 \times 10^{-27}} = 3 \times 10^{35}.$$

L'ordre de grandeur du rapport des valeurs est de  $10^{35}$  donc la force gravitationnelle est négligeable devant la force électrique.

23. a.  $F_{A/B} = G \frac{m_A m_B}{d^2}.$

b. - Si la valeur de la masse  $m_A$  est doublée alors la valeur de la force est doublée.

- Si la valeur de la distance  $d$  est doublée alors la valeur de la force est divisée par 4.

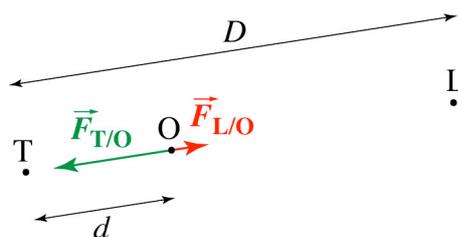
c. Pour quadrupler la valeur de la force, il faut diviser la distance  $d$  par 2.

d. Pour doubler la valeur de la force, il faut diviser la distance par  $\sqrt{2}.$

24. a.  $F_{T/O} = G \frac{M_T m}{d^2}.$

b.  $F_{L/O} = G \frac{M_L m}{(D-d)^2}.$

c. Schéma proposé :



© Corédoc. Nathan 2011

**Sirius 1<sup>ère</sup> S - Livre du professeur**  
**Chapitre 10. Interactions fondamentales**

$$d. \vec{F}_{T/O} = \vec{F}_{L/O} \rightarrow \frac{M_T}{d^2} = \frac{M_L}{(D-d)^2} \rightarrow \left[ \frac{(D-d)}{d} \right]^2 = \frac{M_L}{M_T} \rightarrow (D-d) - 1 = \sqrt{\frac{M_L}{M_T}} \rightarrow \frac{D}{d} = 1 + \sqrt{\frac{M_L}{M_T}}$$

$$\rightarrow \frac{d}{D} = \frac{1}{1 + \sqrt{\frac{M_L}{M_T}}} \rightarrow d = \frac{D}{1 + \sqrt{\frac{M_L}{M_T}}}$$

25. a. Valeur des charges :

$$|q_A| = |q_B| = \sqrt{\frac{F_{A/B} \times d^2}{k}}$$

$$|q_A| = |q_B| = \sqrt{\frac{3,0 \times 10^{-3} \times (5,0 \times 10^{-2})^2}{9,0 \times 10^9}} = 2,9 \times 10^{-8} \text{ C.}$$

b. On ne peut pas conclure sur le caractère répulsif ou attractif de l'interaction électrique.

Il faudrait connaître le signe de chaque charge.

c. La valeur de chaque charge est multipliée par 3.

26. *Une vidéo sur le carillon électrostatique est disponible dans le manuel enrichi pour illustrer cet exercice.*

a. La plaque la plus proche, chargée positivement, crée une distorsion des charges électriques dans la boule conductrice (phénomène d'influence) ; de ce fait, les charges négatives se rapprochent de cette plaque : la boule est attirée. Plus la distance entre la boule et la plaque diminue, plus l'attraction est forte.

b. Lors du contact, la boule cède des électrons à la plaque. La plaque chargée positivement repousse alors la boule chargée positivement. La boule va alors heurter la plaque négative où elle se charge en électrons.

c. La boule oscille entre les deux plaques : d'où le nom de carillon.

27. a. Déterminer l'expression de la valeur de la force gravitationnelle exercée par le noyau sur l'électron.

$$F_{\text{noyau/électron, grav}} = G \frac{m_{\text{noyau}} \times m_{\text{électron}}}{d^2} = G \frac{A \times m_{\text{nucléon}} \times m_{\text{électron}}}{d^2}$$

b. Déterminer l'expression de la valeur de la force électrique exercée par le noyau sur l'électron.

$$F_{\text{noyau/électron, élec}} = k \frac{|q_{\text{noyau}}| \times |q_{\text{électron}}|}{d^2} = k \frac{|Z \times e| \times |-e|}{d^2}$$

c. Déterminer l'expression du rapport des valeurs des forces. Le calculer et conclure.

$$\frac{F_{\text{élec}}}{F_{\text{grav}}} = \frac{k \times |Z \times e| \times |-e|}{G \times A \times m_{\text{nucléon}} \times m_{\text{électron}}}$$

$$\frac{F_{\text{élec}}}{F_{\text{grav}}} = \frac{9,0 \times 10^9 \times |79 \times 1,60 \times 10^{-19}| \times |-1,60 \times 10^{-19}|}{6,67 \times 10^{-11} \times 197 \times 1,67 \times 10^{-27} \times 9,1 \times 10^{-31}} = 9,1 \times 10^{38}$$

La force gravitationnelle est donc négligeable devant la force électrique.