

# Chapitre 1.1a – La charge électrique

## L'électromagnétisme

L'**électromagnétisme** est la branche de la physique qui étudie l'interaction des particules dotées d'une charge électrique et de l'évolution du champ électromagnétique qu'elles génèrent. C'est la branche de la physique qui est jusqu'à présent la mieux comprise par la communauté physicienne. Bien que l'électromagnétisme ne soit qu'une seule théorie à part entière, elle est habituellement étudiée en deux parties : l'électricité et le magnétisme.



Une aurore boréale est un phénomène électromagnétique

## Pourquoi l'électromagnétisme

L'étude de l'électromagnétisme est très importante en physique, car l'électricité et le magnétisme sont présents dans presque tous les phénomènes qui nous entourent.

Le magnétisme



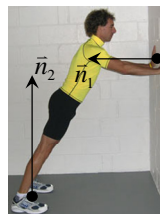
Boussole

Structure des matériaux



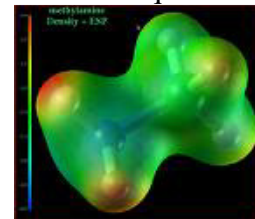
Ressort

Interaction entre les objets



Force normale

Liaison chimiques



Liaison C-N

Pile électrochimique et batterie



Batterie de voiture

Transport d'énergie



Ligne électrique

Télécommunication



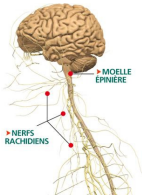
Téléphone cellulaire

Outils de tous les jours



Voiture

Corps humain et le système nerveux



Moelle épinière

Instruments médicaux



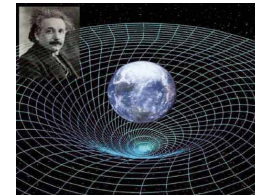
Scanneur

Lumière



Laser

Espace-temps



Relativité générale

## La charge électrique

La **charge électrique** est la propriété de la matière qui produit les phénomènes électricité et magnétisme. L'unité utilisée pour mesurer la charge électrique est le **coulomb** (symbole : C). Toutes les particules qui possèdent une charge électrique peuvent subir des **forces électriques** et peuvent subir également des **forces magnétiques** si elles sont en **mouvement**.

Notation mathématique :  $charge = q$

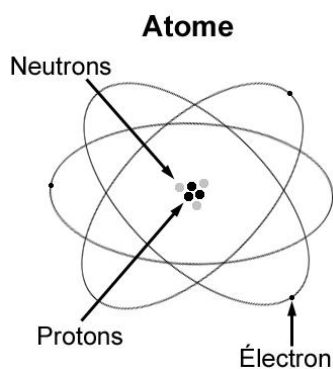
Unité (coulomb) :  $[q] = C$

## L'atome

Un **atome** est un regroupement de **particules élémentaires** habituellement neutre électriquement. Un regroupement d'atomes permet à l'aide de l'interaction électrique de construire des **molécules**, des **cellules**, des **minéraux** et d'autres structures complexes. Puisque les objets de tous les jours sont composés d'un très grand nombre d'atomes qui eux sont constitués de particules chargées, analysons la composition générale d'un atome :

Particule découvertes	Symbole	Charge (C)	Localisation dans un atome	Rayon (m)	Masse (kg)
Électron	$e^-$	$-e$	Orbitale	$\ll 1 \times 10^{-18}$ m	$9,11 \times 10^{-31}$ kg
Proton	$p^+$	$+e$	Noyau	$0,861 \times 10^{-15}$ m	$1,672 \times 10^{-27}$ kg
Neutron	$n$	0	Noyau	$\approx 1 \times 10^{-15}$ m	$1,674 \times 10^{-27}$ kg
Photon	$\gamma$	0	-----	non défini	0 kg
Muon	$\mu^-$	$-e$	-----	inconnu	$1,88 \times 10^{-28}$ kg

Atome : (échelle nanoscopique) (Charge élémentaire :  $1 e = 1,6 \times 10^{-19}$  C)



Taille de l'atome :  $\approx 10^{-10}$  m

Taille du noyau :  $\approx 10^{-15}$  m

Masse du noyau :  $\approx 99,97\%$  masse de l'atome

Comparaison des tailles :

Si l'atome avait la taille du stade Olympique, le noyau aurait la taille d'un ballon de basket-ball.




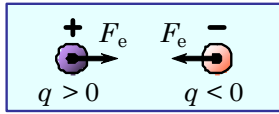
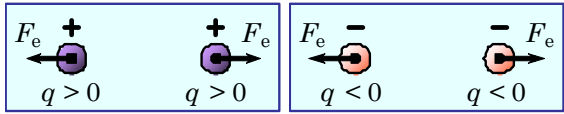
Noyau : Zone centrale de l'atome où sont situés les protons et les neutrons.

Orbitale : Zone de probabilité de présence d'un électron voyageant autour du noyau.

Atome : Structure composée de  $\approx 99,9999\%$  de vide où le volume est défini comme étant une probabilité non nulle d'entrer en interaction/collision avec une particule de l'atome.

## Deux signes aux charges et deux interactions

Puisque la charge électrique peut subir une interaction **d'attraction** et de **répulsion**, on utilise le signe positif (+) et le signe négatif (-) pour désigner les deux types de charges :

Particules élémentaires	Attraction charges de signes opposés	Répulsion charges de signes semblables
proton  $q = +e$ électron  $q = -e$ neutron  $q = 0$		

## La quantification de la charge

Comme le propose le modèle standard<sup>1</sup>, le proton et les électrons possèdent respectivement une charge  $+e$  et une charge  $-e$ . Puisque les objets qui nous entourent sont uniquement composés de ces particules chargées, alors la charge nette d'un objet se doit d'être un multiple entier de la charge élémentaire  $e$  et la charge est ainsi quantifiée :

$$q = (N_+ - N_-) e = \pm Ne$$

- où
- $q$  : Charge totale de l'objet en coulomb (C)
  - $e$  : Charge élémentaire,  $e = 1,602 \times 10^{-19} \text{ C}$  ( $e = 1,602176565 \times 10^{-19} \text{ C}$ )
  - $N_+$  : Nombre de charges positives (ex : protons)
  - $N_-$  : Nombre de charges négative (ex : électrons)
  - $N$  : Nombre de charges excédentaires ( $N = |N_+ - N_-|$ )

Exemple de non quantification :  $1 \text{ nC} = 6\,242\,197\,253,4e \neq Ne$

## Conservation de la charge

Durant une expérience, les charges positives et les charges négatives sont toujours conservées. Elles ne peuvent jamais être créés ni détruites. Elles ne font que se déplacer d'un corps à un autre ou former de nouvelles particules qui préservent la charge initiale.

Ionisation du sel dans l'eau (réaction chimique)	Neutronisation dans une étoile à neutron (réaction nucléaire)
ion de sodium + ion chlore $\rightarrow$ sel	électron + proton $\rightarrow$ neutron + neutrinos
$\text{Na}^+ + \text{Cl}^- \rightarrow \text{NaCl}$	$e^- + p^+ \rightarrow n + \nu_e$
$(+e) + (-e) \rightarrow (0)$	$(-e) + (+e) \rightarrow (0) + (0)$

La conservation de la charge peut se généraliser par l'équation suivante :

$$\sum q_{\text{initiale}} = \sum q_{\text{finale}}$$

- où  $q_{\text{initiale}}$  : Charge avant la réaction (C)       $q_{\text{finale}}$  : Charge après la réaction (C)

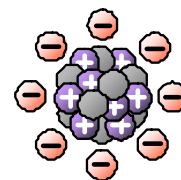
<sup>1</sup> Le modèle standard est une théorie des particules basée sur les lois de la mécanique quantique.

## Comment un noyau peut-il exister ?





Un atome est constitué d'un noyau central regroupant des protons et des neutrons entouré par un nuage d'électron. Puisque les charges semblables se repoussent,

*Comment un noyau peut-il exister et être stable  
si les protons qui le constituent se repoussent entre eux ?*

Pour répondre à cette question, il faut faire intervenir une nouvelle force : la force nucléaire. Dans le Modèle Standard de la physique des particules, il existe **quatre forces fondamentales**. Ces **forces** s'appliquent entre les particules via des **particules d'échange**. C'est de cette façon que les particules peuvent « communiquer » entre elles et faire preuve de leur présence autour d'elles pour ainsi appliquer les interactions :



Représentation très schématisée d'un atome neutre

Type de force	Particule d'échange	Interaction
Gravitationnelle 	<ul style="list-style-type: none"> <li>graviton (non observé)</li> </ul>	Interaction de la <b>masse</b> (les masses s'attirent)
Électromagnétique 	<ul style="list-style-type: none"> <li>photon</li> </ul>	Interaction de la <b>charge électrique</b> (les charges s'attirent ou se repoussent)
Force faible 	<ul style="list-style-type: none"> <li>bosons <math>W^+</math>, <math>W^-</math> et <math>Z^0</math></li> <li>boson de Higgs <math>H^0</math></li> </ul>	Interaction de la <b>saveur</b> (désintégration des particules)
Force forte ou nucléaire 	<ul style="list-style-type: none"> <li>gluon (ex : <math>\pi^+</math>, <math>\pi^0</math>, <math>\pi^-</math>)</li> </ul>	Interaction de la <b>couleur</b> (attraction des quarks)

- Puisque les **protons** et les **neutrons** sont constitués de **quarks**, ils sont sujets à subir des **forces nucléaires**. Un noyau atomique est stable<sup>2</sup> lorsque la force nucléaire entre les protons et les neutrons est supérieure à la force électrique de répulsion entre les protons ( $f_{nucléaire} > f_{électrique}$ ).
- Les électrons n'ont aucune influence sur la stabilité du noyau. Ils sont responsables de la stabilité des molécules (partage d'électron de valence et liaison chimique) et permettent un transport d'énergie dans des structures conductrice (courant électrique).

<sup>2</sup> Selon les modèles théoriques, le dernier atome stable est l'uranium 92. Puisque cet atome est constitué de 92 protons et entre 141 à 146 neutrons (les différents isotopes), la distance élevée entre les protons et les neutrons nuit à la force nucléaire qui possède une portée limitée. Ainsi, la force électrique surpasse la force nucléaire ce qui rend le noyau instable.

# Les grandeurs de la physique en électricité et magnétisme

Dans le cours d'électricité et magnétisme, vous serez invités à étudier les différentes grandeurs physiques suivantes :

En mécanique	
<ul style="list-style-type: none"> <li>La vitesse <math>\vec{v}</math> en <i>mètre par seconde</i> et vitesse angulaire <math>\omega</math> en <i>radian par seconde</i> :  <math display="block">[\vec{v}] = \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad \text{et} \quad [\omega] = \frac{\text{rad}}{\text{s}}</math> </li> <li>L'accélération <math>\vec{a}</math> en <i>mètre par seconde carrée</i> et l'accélération angulaire <math>\alpha</math> en <i>radian par seconde carrée</i> :  <math display="block">[\vec{a}] = \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \quad \text{et} \quad [\alpha] = \frac{\text{rad}}{\text{s}^2}</math> </li> <li>La force <math>\vec{F}</math> en <i>newton</i> :  <math display="block">[\vec{F}] = \text{N} = \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2}</math> </li> <li>Le champ gravitationnel <math>\vec{g}</math> en <i>newton par kilogramme</i> :  <math display="block">[\vec{g}] = \frac{\text{N}}{\text{kg}} = \frac{\text{m}}{\text{s}^2}</math> </li> <li>L'énergie <math>E</math> en <i>joule</i> :  <math display="block">[E] = \text{J} = \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^2}</math> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>La puissance <math>P</math> en <i>watt</i> :  <math display="block">[P] = \text{W} = \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^3}</math> </li> <li>La quantité de mouvement <math>\vec{p}</math> en <i>kilogramme mètre par seconde</i> :  <math display="block">[\vec{p}] = \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}}</math> </li> <li>Le moment de force <math>\vec{\tau}</math> en <i>newton-mètre</i> :  <math display="block">[\vec{\tau}] = \text{N} \cdot \text{m} = \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^2}</math> </li> <li>Le moment d'inertie <math>I</math> en <i>kilogramme mètre carré</i> :  <math display="block">[I] = \text{kg} \cdot \text{m}^2</math> </li> <li>Le moment cinétique <math>\vec{L}</math> en <i>kilogramme mètre carré par seconde</i> :  <math display="block">[\vec{L}] = \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}}</math> </li> </ul>
En électricité et magnétisme	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Le courant <math>I</math> en <i>ampère</i> :  <math display="block">[I] = \text{A} = \frac{\text{C}}{\text{s}}</math> </li> <li>Le potentiel électrique <math>V</math> en <i>volt</i> :  <math display="block">[V] = \text{V} = \frac{\text{J}}{\text{C}} = \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{C} \cdot \text{s}^2}</math> </li> <li>La résistance <math>R</math> en <i>ohm</i> :  <math display="block">[R] = \Omega = \frac{\text{V}}{\text{A}} = \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2 \cdot \text{s}}</math> </li> <li>La capacité <math>C</math> en <i>farad</i> :  <math display="block">[C] = \text{F} = \frac{\text{C}}{\text{V}} = \frac{\text{C}^2 \cdot \text{s}^2}{\text{kg} \cdot \text{m}^2}</math> </li> <li>L'inductance <math>L</math> en <i>henry</i> :  <math display="block">[L] = \text{H} = \frac{\text{V} \cdot \text{s}}{\text{A}} = \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2}</math> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Le champ électrique <math>\vec{E}</math> en <i>newton par coulomb</i> :  <math display="block">[\vec{E}] = \frac{\text{N}}{\text{C}} = \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{C} \cdot \text{s}^2}</math> </li> <li>Le champ magnétique <math>\vec{B}</math> en <i>tesla</i> :  <math display="block">[\vec{B}] = \text{T} = \frac{\text{N} \cdot \text{s}}{\text{C} \cdot \text{m}} = \frac{\text{kg}}{\text{C} \cdot \text{s}}</math> </li> <li>Le flux électrique <math>\Phi_e</math> en <i>newton mètre carré par coulomb</i> :  <math display="block">[\Phi_e] = \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}} = \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^3}{\text{C} \cdot \text{s}^2}</math> </li> <li>Le flux magnétique <math>\Phi_m</math> en <i>weber</i> :  <math display="block">[\Phi_m] = \text{wb} = \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{C} \cdot \text{s}}</math> </li> </ul>





