

Chapitre 2

PHYSIQUE
ELECTRIQUE

Sommaire

- L'atome
- Les particules élémentaires
- La conductibilité
- La résistivité
- Entraînement

Introduction

La physique décrit les phénomènes naturels observables dans tous les milieux, que ce soit mécanique, nucléaire, thermique, cosmique, électriques, ou autre.

Des relations mathématiques permettent de quantifier les phénomènes électriques. Il est important de ne pas perdre de vue que ces relations mathématiques ne sont que des « outils » qui découlent du comportement de la matière, donc de l'atome.

L'objectif de ce chapitre est de proposer une approche pragmatique de la physique atomique.

2.1 Les atomes

Les physiciens du début du siècle ont montré que la matière est formée de petites entités appelées **atomes**.

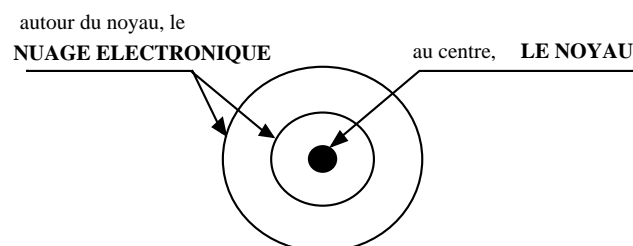


Fig. 2.1 L'atome.

Un atome est un ensemble de minuscules grains de matière, appelés **particules élémentaires** ou **particules fondamentales**. Il y a :

les protons les neutrons	Ce sont les constituants du noyau d'où leur nom de nucléons .
les électrons	Ils tournent autour du noyau et forment le nuage électronique .

2.2 Particules élémentaires

Les particules se différencient les unes des autres par :

leur masse et leurs charges électriques

Dans le cas de l'électricité, seule leur charge électrique nous intéresse.

Particule	symbole	charge électrique
proton	p^+	+ 1
neutron	n	0
électron	e^-	- 1

2.3 Le noyau de l'atome

Le noyau de l'atome est formé de :

- **protons** charges électriques **positives**
- **neutrons** sans charges électriques (**neutre**)

Le **noyau** de l'atome est **toujours positif**

2.3.1 Nombre atomique Z

Définition : On appelle nombre atomique ou numéro atomique Z , le nombre de protons du noyau.

Les propriétés chimiques, physique et **électrique** d'un atome sont liées au nombre de protons du noyau, qui détermine le nombre d'électrons du nuage électronique.

Exemples :

<i>Hydrogène</i>	<i>1 proton</i>
<i>Hélium</i>	<i>2 protons</i>
<i>Carbone</i>	<i>6 protons</i>

2.3.2 Masse atomique A

Définition : On appelle masse atomique ou nombre de masse atomique A le nombre de protons et de neutrons du noyau.

Remarque : le nombre de neutrons correspond à : $A - Z$

Exemples :

Eléments chimiques	Numéro atomique Z	Masse atomique A	Nombre de protons	Nombre de neutrons	Nombre d'électrons
Hydrogène	1	1	1	0	1
Hélium	2	4	2	2	2
Carbone	6	12	6	6	6
Cuivre	29	64	29	35	29
Aluminium	13	27	13	14	13
Argent	47	108	47	61	47

2.4 Nuage électronique

Le nuage électronique est formé d'électrons tournant à grande vitesse autour du noyau selon des trajectoires très complexes. Nous devons la représentation ci-dessous au physicien danois Niels BOHR (1885 - 1962).

Les électrons sont répartis sur les couches selon les quantités suivantes :

K	2	N	32
L	8	O	50
M	18	P	72
		Q	98

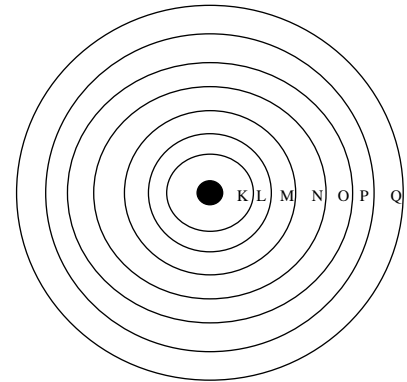


Fig. 2.2 Le nuage électronique.

Remarque : On ne connaît actuellement aucun atome assez gros pour que les couches O , P , Q soient remplies au maximum.

Le nuage électronique est composé d'électrons donc sa charge électrique est **toujours négative**.

2.4.1 Couches périphériques

Définition : C'est la couche la plus extrême d'un atome. Ses électrons sont appelés **ELECTRONS PERIPHERIQUES** ou **ELECTRONS DE VALENCE**.

La **couche périphérique** d'un atome ne peut pas posséder plus de huit électrons.

Les propriétés électriques dépendent des électrons de la couche périphérique.

Conducteurs : 1 à 3 électrons de valence
Semi-conducteurs : 4 électrons de valence
Isolants : 5 à 8 électrons de valence

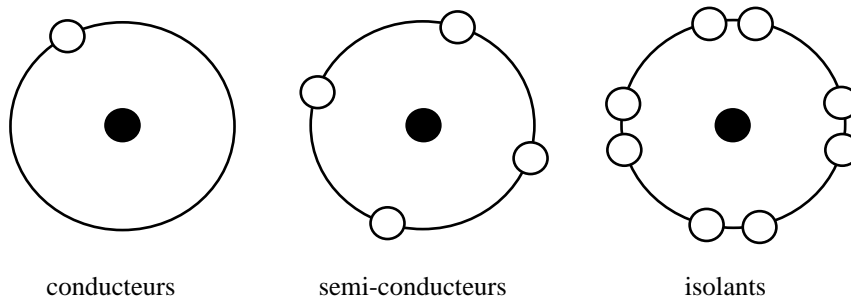


Fig. 2.3 Représentation des couches périphériques.

Les **bons conducteurs** ont leur dernière **couche incomplète**. Ils céderont facilement leurs électrons.

Les **isolants** ont leur dernière **couche saturée ou presque saturée**. Ils accepteront peu d'électrons.

Certains matériaux ont autant d'électrons à prendre qu'à donner pour avoir leurs couches saturées. Ces matériaux portent le nom de **semi-conducteurs**. Ces matériaux sont des éléments dont la **dernière couche est formée de 4 électrons**. Ils sont dits tétravalents. Le silicium et le germanium sont les semi-conducteurs les plus utilisés.

2.4.2 Electrons libres

L'atome possède, dans son état normal, autant de protons que d'électrons. Il est électriquement neutre.

Les électrons, quelle que soit l'orbite sur laquelle ils se situent, sont attirés par les protons du noyau. En effet, les électrons, de charge négative, sont attirés par les protons de charge positive. La force d'attraction est fonction du nombre de protons ainsi que de la **distance** qui les sépare du noyau.

- Plus le diamètre de l'orbite (K , L , M , N , etc.) sur laquelle circulent les électrons est grand, plus les **forces centripètes** et **d'attractions** sont faibles.
- Si le nombre d'électrons de valence est petit (plus petit ou égal à 3), la force d'attraction exercée par les protons sera relativement faible. Ces phénomènes expliquent qu'un électron de la couche périphérique puisse être attiré par d'autres atomes. **On pourra parler d'électron libre.**

Définition : On appelle un **électron libre**, un électron qui n'est plus lié à un atome.

Il y a donc une **circulation d'électrons** (circuit ou pas) ou de charges négatives.

Remarque : A chaque couche électronique correspond un niveau d'énergie bien déterminé appelé **bande d'énergie**.

La bande de conduction, dans laquelle se trouvent les électrons libres est située au-delà de la bande de valence.

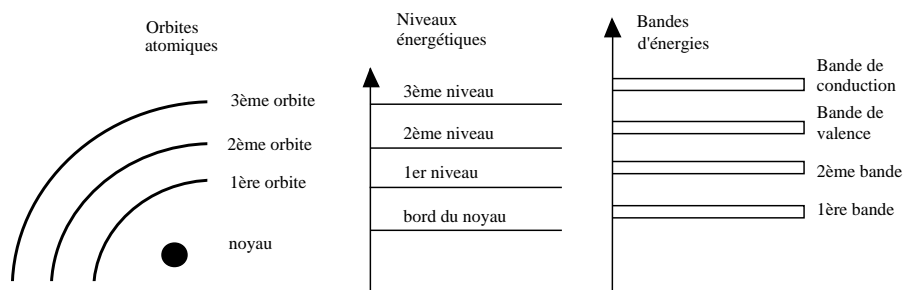


Fig. 2.4 Les bandes d'énergie.

2.5 Conductibilité

Définition : Propriété qu'ont les corps ou les milieux de transmettre plus ou moins facilement, d'un point à un autre de leur masse, la chaleur ou l'électricité.

Les électrons libres, situés dans la bande de conduction, sont dits **électrons de conduction**.

Exemple : Le cuivre est un des meilleurs conducteurs de l'électricité et il est aussi le plus utilisé. Il contient environ $86 \cdot 10^{18}$ électrons libres par $[mm^3]$. Le nickel et le tungstène contiennent environ 100 fois moins d'électrons libres par $[mm^3]$.

Dans la pratique, chaque matière va pouvoir être classée en fonction de sa facilité à donner des **électrons libres**.

Cette propriété est nommée conductibilité électrique. Lorsqu'on la quantifie, on la nomme conductivité.

Pour symboliser cette grandeur, le système international SI a donné la lettre grecque γ (gamma).

Pour abrégé l'unité, le système SI a admis les symboles suivants :

Symbole de la grandeur : γ gamma

Symbole de l'unité : $[\Omega \cdot m]^{-1}$

Par opposition, nous pouvons quantifier la matière selon sa retenue au passage des électrons libres. Cette propriété porte le nom de **résistivité**.

Symbole de la grandeur :

Symbole de l'unité : $[\Omega \cdot m]$

Le tableau suivant indique le nombre d'électrons libres pour différentes matières. Voir également un tableau périodique.

Matières et symboles chimiques	Nombre d'électrons sur la couche périphérique	Conductivité $[\Omega \cdot m]^{-1}$	Résistivité $[\Omega \cdot m]$
Cuivre Cu	1	$5.71 \cdot 10^7$	$1.75 \cdot 10^{-8}$
Aluminium Al	3	$3.60 \cdot 10^7$	$2.78 \cdot 10^{-8}$
Argent Ag	1	$6.06 \cdot 10^7$	$1.65 \cdot 10^{-8}$

Les relations mathématiques entre la conductivité et la résistivité sont les suivantes :

$$\text{conductivité} = \frac{1}{\text{résistivité}} \quad \gamma = \frac{1}{\rho} \quad \rho = \frac{1}{\gamma}$$

2.5.1 Usage pratique de la conductivité et de la résistivité

Dans la pratique, les unités de la conductivité γ et de la résistivité ρ sont mal appropriées. En effet, la dimension des fils de cuivre utilisés sont d'un ordre de grandeur de quelques $[\text{mm}^2]$.

Cela implique que certains formulaires techniques donnent les valeurs de la conductivité et de la résistivité avec d'autres unités. Les symboles de grandeurs γ et ρ ne changeant pas.

	<u>Conductivité</u>	<u>Résistivité</u>
<u>Symboles de grandeurs</u> :	γ gamma	ρ rho
<u>Symboles d'unités</u> :	$\left \frac{m}{\Omega \cdot \text{mm}^2} \right $	$\left \frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{m} \right $

Matières et symboles chimiques	Conductivité $\left \frac{m}{\Omega \cdot \text{mm}^2} \right $	Résistivité $\left \frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{m} \right $
Cuivre Cu	$5.71 \cdot 10^1$	$1.75 \cdot 10^{-2}$
Aluminium Al	$3.60 \cdot 10^1$	$2.78 \cdot 10^{-2}$

2.6 Ion

Définition : On appelle **ion**, un atome ou un groupe d'atomes ayant perdu ou gagné un ou plusieurs électrons. L'équilibre des charges n'est donc plus respecté et l'atome n'est plus neutre.

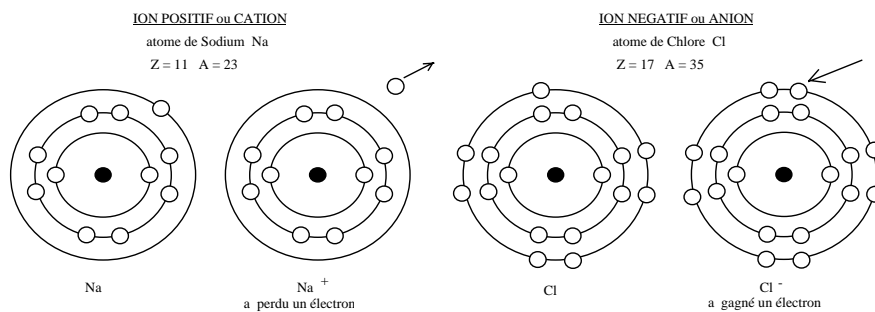


Fig. 2.5 Cation et anion.

Le passage d'un atome à l'état de ion se nomme **ionisation**.

2.7 Déplacement des électrons

Un atome chargé négativement (ion négatif) a un **excès d'électrons**. Un atome chargé positivement (ion positif) a un **manque d'électrons**.

Lorsque deux atomes, de charges opposées sont à une certaine distance l'un de l'autre, il y a un phénomène d'attraction et un courant électrique circule.

Le courant électronique (sens de passage des électrons) va de l'atome **négatif** vers l'atome **positif**.

Au début de l'étude des phénomènes électriques, il fut convenu que le courant électrique circulait du + vers le - . Malgré la découverte de la nature de l'électricité et du sens réel des électrons, le sens conventionnel du courant fut conservé. Il faut donc bien prêter attention aux indications qui suivent.

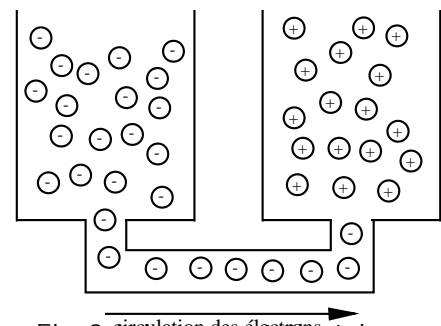


Fig. 2.6 Le courant électrique.

Sens de déplacement des électrons ou sens électronique :	- vers le +
Sens conventionnel du courant	+ vers le -

2.8 Electronvolt

L'unité d'énergie couramment utilisée en physique des particules n'est pas le joule mais l'électronvolt eV.

Définition : Un électron, charge d'électricité négative $e=1.6 \cdot 10^{-19}$ [C], possède une énergie cinétique W_c de 1 eV quand, en supposant au préalable l'électron immobile dans un champ électrique, il a parcouru, sous l'influence du champ, l'intervalle séparant 2 points dont la différence de potentiel est de 1 volt.

Dans la pratique, on peut dire que 1 eV correspond à l'énergie acquise par un électron accéléré par une différence de potentiel électrique de 1 [V].

$$\text{Energie cinétique } W_c = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

$$1 \text{ électronvolt} = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ joule}$$

2.9 Vitesse de propagation

La vitesse de la lumière c , dans le vide, est la référence de comparaison des phénomènes physiques.

Nous admettrons après développement que :

$$c = 2.997925 \cdot 10^8 \text{ [m} \cdot \text{s}^{-1}\text{]}$$

$$c = 300'000 \text{ [km} \cdot \text{s}^{-1}\text{]} \quad \text{ou} \quad 3 \cdot 10^8 \text{ [m} \cdot \text{s}^{-1}\text{]}$$

La vitesse de la lumière est admise identique dans le vide et dans l'air.

2.10 Vitesse de l'électron

La vitesse de l'électron est plus faible que celle de la lumière. Elle est de quelques [mm·s⁻¹] ou de quelques milliers de [km·s⁻¹] ceci en fonction du milieu dans lequel l'électron circule.

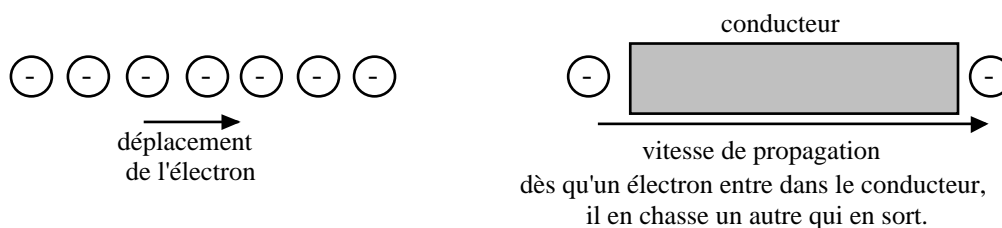


Fig. 2.7 Déplacement et vitesse de l'électron.

2.11 Formes de dégagement d'énergie

Selon la représentation de Bohr, lorsqu'un électron quitte son orbite pour en rejoindre une autre, ou qu'il y a un mouvement entre orbites, il y a un **dégagement d'énergie**.

Cette énergie se présente sous plusieurs formes :

1. Agitation des molécules provoquant un échauffement de la matière appelé énergie **calorifique**.
2. Un photon, particule se déplaçant à la vitesse de la lumière c (voir théorie d'Einstein), peut céder de l'énergie à un électron. Si l'énergie acquise par l'électron et la direction dans laquelle il se déplace lui permettent de changer d'orbite, cette orbite est instable et le retour de l'électron à sa couche initiale donne un **rayon lumineux**.
3. Les électrons sont également animés d'une rotation sur eux-mêmes et sur leur orbite. Ce phénomène s'appelle le **spin** de l'électron et il est responsable du **magnétisme**. Dans la plupart des cas, les électrons sont groupés par paire. L'un tournant dans le sens trigonométrique (inverse des aiguilles d'une montre) et l'autre tournant dans le sens horaire. La résultante de ces rotations est nulle.
4. L'effet **chimique** est une transformation de l'atome. Nous l'étudierons plus tard par ses applications pratiques.

2.12 Documentaire



Niels BOHR

Physicien danois

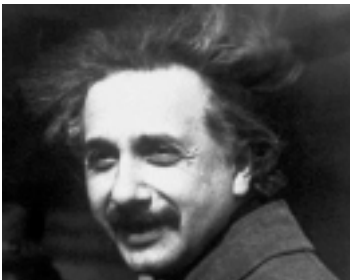
Copenhague, 1885 - Copenhague, 1962

Prix Nobel de physique en 1922

A élaboré une théorie de la structure de l'atome intégrant le modèle planétaire de lord Ernest Rutherford (1871-1937) et le quantum d'action de Max Planck (1858-1947).

A établi le "principe de complémentarité" où un objet quantique peut être décrit, selon les conditions expérimentales, soit en termes d'ondes, soit en termes de particules.

(Sources : Université Laval, Québec, Canada)



Albert EINSTEIN

Physicien allemand, naturalisé suisse puis américain.

Ulm, 1879 - Princeton 1955

Prix Nobel de physique en 1921

Créateur de la théorie de la relativité. Il y développe l'idée de l'équivalence entre la masse et l'énergie, d'où la relation : $E = m \cdot c^2$.

2.13 Entraînement

Quelques questions pour résumer la situation :

1. Qu'est-ce qu'un atome ?
2. De quoi se compose un atome ?
3. Qu'est-ce qu'une orbite ?
4. Quel est le nombre de protons d'un atome de zinc ?
5. Énoncer la relation entre la masse atomique et le numéro atomique.
6. Citer le nom des bandes d'énergies.
7. Citer une application de l'argon
8. Pourquoi les électrons périphériques sont-ils les seuls à pouvoir quitter leur orbite ?
9. Comment s'appelle le savant qui a élaboré la théorie de la relativité ?
10. Qu'est-ce que la conductibilité ?
11. Donner le symbole de la grandeur et le symbole de l'unité de la conductivité
12. Qu'est-ce que la résistivité ?
13. Donner le symbole de la grandeur et le symbole de l'unité de la résistivité.
14. Quelle est la relation mathématique entre la conductivité et la résistivité ?
15. Quelle est la touche de votre machine à calculer qui vous permet d'effectuer la conversion entre γ et ρ ?
16. Donner le nom et la particularité de deux matériaux semi-conducteurs
17. Pourquoi les électrons qui se trouvent sur l'orbite la plus éloignée du noyau s'appellent électrons libres ?
18. Donner la charge électrique de tous les composants d'un atome.
19. Qu'est-ce qu'un ion ?
20. Le plomb a une résistivité de $22 \cdot 10^{-8} [\Omega \cdot m]$. Calculer sa conductivité.
21. Rechercher la valeur de la résistivité du platine et l'exprimer sous toutes ses formes.
22. Quel est le meilleur conducteur de l'électricité, et pourquoi ?
23. Quelle sera la conséquence du remplacement d'un conducteur de cuivre par un conducteur d'aluminium ?
24. Citer le nom de quatre isolants utilisés couramment en électricité.