

# Cours et Exercices de Structure de la Matière

Cours et exercices - LMD. Domaine : Sciences et Technologies

**BEY Said**

2015/2016

## Préface du cours

La chimie est considérée comme une partie intégrante de l'histoire des sciences et du monde contemporain. En général, la chimie générale décrit la réactivité des éléments et de leurs composés, tout en donnant un vaste aperçu des principes sur lesquels repose la chimie et elle est la base de la formation scientifique initiale pour les chimistes. Ce cours contient les développements théoriques et fait appels à des outils mathématiques pour comprendre certaines notions de la chimie structurale.

Destiné en priorité aux étudiants de première licence (L1) en sciences, ce cours se veut comme un outil pédagogique de première force pour l'apprentissage de la chimie générale par les étudiants du supérieur du domaine Sciences et Technologie ou toutes autres spécialités telles que les sciences médicales et biologiques. Ce cours se décline en six chapitres tels que défini par le programme officiel du socle commun pour les étudiants Sciences et Technologie.

Chapitre I : Notions fondamentales

Chapitre II : Principaux constituants de la matière

Chapitre III : radioactivité –réactions nucléaires.

Chapitre IV : Structure électronique de l'atome

Chapitre V : La classification périodique des éléments

Chapitre VI : Liaisons chimiques

Ce manuel constitue un très bon outil pédagogique pour les étudiants de la 1<sup>ère</sup> année Sciences et Technologie. La présentation des chapitres, les nombreuses illustrations, les exemples et exercices accompagnent l'étudiant dans son parcours pédagogique exploration de la chimie. L'approche utilisée permet d'exposer avec rigueur les découvertes et les concepts qui ont mené à la compréhension actuelle des propriétés de la matière, connaissance essentielle à tout étudiant s'orientant vers le domaine scientifique.

# Unités de Mesure et constantes

## 1. Unités de Base (SI)

Grandeur physique	Symbole de la grandeur	Unité S.I	Symbole de l'unité
Longueur	$l$	Mètre	m
Masse	$m$	Kilogramme	Kg
Temps	$t$	Seconde	s
Courant électrique	$I$	Ampère	A
Température	$^{\circ}\text{C}$ ou $^{\circ}\text{K}$	$^{\circ}\text{C}$ ou Kelvin	$^{\circ}\text{C}$ ou K
Intensité lumineuse	$I_v$	Candela	cd
Quantité de matière	$n$	Mole	mol

## 2. Unités associées

Grandeur physique	Symbole	Unité	Symbole	Expression de l'unité
Fréquence	$\nu$	Hertz	Hz	$\text{s}^{-1}$
Force	$F$	Newton	N	$\text{kg.m.s}^{-2} = \text{J.m}^{-1}$
Energie	$E$	Joule	J	$\text{N.m} = \text{kg.m}^2.\text{s}^{-2} = \text{C.V} = \text{V.A.s}$
Puissance	$P$	Watt	W	$\text{J.s}^{-1} = \text{kg.m.s}^{-3} = \text{V.A}$
Charge électrique	$Q$	Coulomb	C	A.s
Potentiel électrique	$V, \phi$	Volt	V	$\text{J.A}^{-1}.\text{S}^{-1} = \text{kg.m}^2.\text{s}^{-3}.\text{A}^{-1}$
Résistance électrique	$R$	Ohm	$\Omega$	$\text{V.A}^{-1} = \text{kg.m}^2.\text{s}^{-3}.\text{A}^{-2}$
Capacité électrique	$C$	Farad	F	$\text{C.V}^{-1} = \text{A}^2.\text{S}^4.\text{Kg}^{-1}.\text{m}^{-2}$
Pression	$P, p$	Pascal	Pa	$\text{N.m}^{-1} = \text{Kg.m}^{-1}.\text{s}^{-2}$

## 3. Les exposants du nombre 10 (multiples et sous multiples):

Multiples			Sous multiples		
		symbole			Symbole
$10^3$	<i>Kilo</i>	K	$10^{-3}$	Milli	m
$10^6$	<i>Méga</i>	M	$10^{-6}$	Miro	$\mu$
$10^9$	<i>Giga</i>	G	$10^{-9}$	Nano	n
$10^{12}$	<i>Téra</i>	T	$10^{-12}$	Pico	p
$10^{15}$	<i>pèta</i>	P	$10^{-15}$	femto	f

#### 4. Quelques unités recommandées

Grandeur	Nom	Symbole	Valeur
Distance	<i>Angström</i>	Å	1 Å = 10 <sup>-10</sup> m = 0,1 nm = 100 pm
Energie	<i>Calorie</i>	cal	1 cal = 4.18 J
	<i>Electron volt</i>	eV	1 eV = 1.602.10 <sup>-19</sup> J = = 96,485 KJ.mol <sup>-1</sup>
Moment dipolaire	<i>Debye</i>		1 D = 3,33 . 10 <sup>-30</sup> C.m
Pression	<i>Atmosphère</i>		1 atm = 101,325 KPa = 1,01325 N.m <sup>-2</sup>

#### 5. Quelques constantes

Nom	Symbole	Valeur
Vitesse de la lumière	<i>c</i>	2.99 . 10 <sup>8</sup> m.s <sup>-1</sup>
Nombre d'Avogadro	<i>N<sub>A</sub></i>	6,022 . 10 <sup>23</sup>
Charge du proton	<i>e</i>	1,602. 10 <sup>-19</sup> C
Charge de l'électron	<i>-e</i>	-1,602.10 <sup>-19</sup> C
Constante de Faraday	<i>F</i>	9,64846.10 <sup>4</sup> C.mol <sup>-1</sup>
Constante de Boltzman	<i>K</i>	1,38.10 <sup>-23</sup> J.K <sup>-1</sup>
Constante ces gaz parfaits	<i>R</i>	8,314 J.K <sup>-1</sup> .mol <sup>-1</sup> (8,205.10 <sup>-2</sup> l.atm.K <sup>-1</sup> .mol <sup>-1</sup> )
Constante de Planck	<i>h</i>	6,62.10 <sup>-34</sup> J.s
Unité de masse atomique <sup>7</sup>	<i>u</i>	1,66.10 <sup>-27</sup> Kg
Masse de l'électron	<i>m<sub>e</sub></i>	9,10953.10 <sup>-31</sup> Kg
Masse du proton	<i>m<sub>p</sub></i>	1.67265.10 <sup>-27</sup> Kg
Masse de neutron	<i>m<sub>n</sub></i>	1,67495.10 <sup>-27</sup> Kg
Permittivité du vide	<i>ε<sub>0</sub></i>	8,854188.10 <sup>-12</sup> J <sup>-1</sup> .C <sup>2</sup> .m <sup>-1</sup>
Rayon de Bohr	<i>a<sub>0</sub></i>	5,29177.10 <sup>-11</sup> m
Constante de Rydberg	<i>R</i>	2.179908.10 <sup>-18</sup> J

## SOMMAIRE

### **CHAPITRE I : Notions Fondamentales**

I.- Etat de la matière .....	1
II- Changement d'état de la matière .....	1
III- Systeme homogène et hétérogène .....	1
IV- Notions d'atomes et molécules .....	2
IV-1. Atomes .....	2
IV-2. Nombre d'Avogadro ( $N_A$ ) .....	2
IV-3 Molécules .....	2
IV-4. Mole .....	2
IV-5. Masse molaire atomique .....	2
IV-6. Atome gramme .....	3
IV-7. Masse molaire moléculaire .....	3
IV-8. Volume molaire .....	3
IV- 9. Unité de masse atomique (u.m.a).....	4
V- Aspect qualitatif de la matière .....	4
VI. Lois pondérales .....	5
VII- Aspect quantitatif de la matière.....	5
VII-1. Le nombre de mole.....	5
VII-2. Concentration molaire ou molarité .....	6
VII-3. Molalité .....	6
VII-4. Concentration pondérale ou massique .....	6
VII-5. Fraction pondérale ou massique 6:	
VII-6. Titre .....	6
VII-7. Fraction molaire .....	7
VII-8. Concentration normale ou la normalité .....	7
VII-9. Masse volumique et la densité .....	8
a- Masse volumique .....	8
b- Densité .....	9
VIII- lois de Raoult .....	9
Exercices .....	11

### **CHAPITRE II : principaux constituants de la matière**

I. Introduction : expérience de Faraday	12
II- Mise en évidence des constituants de la matière	12
II-1. L'électron	12:
a..Expérience de Crookes et caractéristiques des rayonnements cathodiques	12
b.-.Expérience de J.J.Thomson (1912) : détermination du rapport $e/m$	13
c.. Expérience de Millikan : détermination de la charge $ e $ Et déduction de sa masse	16
II.2. Le proton : expérience de Goldstein (charge positive du noyau)	18
II.3. Le neutron : expérience de Chadwick	18
III..Modèle de Rutherford .....	19
IV..Présentation et caractéristiques de l'atome .....	20
V ..Isotopes et abondance relative des différents isotopes .....	21

## SOMMAIRE

VI. Séparation des isotopes et détermination de la masse atomique .....	22
VII. Energie de liaison et de cohésion des noyaux .....	23
VII.1. Energie de liaison (E) .....	23
VII.2. Energie de cohésion (E') .....	24
VII.2.1. Energie de cohésion par nucléon .....	24
VII.2.2. Equation d'Einstein .....	24
VII.3. Définition de l'électro-volt (eV) .....	24
VII.4. Energie d'un u.m.a (1 uma) .....	24
VII.5. Stabilité du noyau .....	25
Exercices .....	26

### **CHAPITRE III la radioactivité**

I. Radioactivité naturelle .....	29
I.1. Rayons $\alpha$ .....	29
I.2. Rayons $\beta^-$ .....	29
I.3. Rayons $\beta^+$ .....	29
I.4. Rayonnements $\gamma$ .....	30
II .. Radioactivité artificielle .....	30
II.1. Réactions de transmutation .....	30
II.2. Fission nucléaire .....	30
II.2. Réaction de fusion .....	31
III. Cinétique de la désintégration radioactive .....	31
III.1. Aspect énergétique .....	31
III.2. Aspect cinétique ( loi de décroissance radioactive) .....	32
a. La période radioactive .....	32
b. Activité radioactive .....	34
IV. Applications de la radioactivité .....	35
V. Dangers de radionucléides .....	37
Exercices .....	38

### **CHAPITRE IV Structure électronique de l'atome**

I. Spectre électromagnétique – dualité onde -corpuscule .....	44
I.1. Aspect ondulatoire de la lumière .....	44
I.2. Aspect corpusculaire : effet photoélectrique .....	45
II. Interaction entre la lumière et la matière .....	47
II.1. Spectre d'émission d'hydrogène .....	48
II.2. Notion de série de raies .....	49
III. Modèles classiques de l'atome .....	50
III.1. Modèle de Rutherford .....	50
III.2. Modèle de Bohr .....	52
III.2.1. Rayon des orbites stationnaires .....	53
III.2.2. Energie de l'électron sur une orbite .....	54
III.2.3. Interprétation par la théorie de Bohr du spectre d'émission de l'atome d'hydrogène .....	54
III.2.4. Application aux hydrogénites .....	55

## SOMMAIRE

III.2.5. Insuffisance de modèle de Bohr .....	56
IV . Modèle base sur la mécanique ondulatoire .....	57
IV.1. Dualité onde-corpuscule et relation de De Broglie .....	57
IV.2. Principe d'incertitude d'Heisenberg .....	57
IV.3. Fonction d'onde et équation de Schrödinger .....	58
IV.3.2. Equation de Schrödinger .....	59
IV.4. Résultats de la résolution de l'équation de Schrödinger .....	61
IV.5. Les nombres quantiques et notion d'orbitale atomique .....	62
IV.5.1. Les nombres quantiques .....	62
a. Nombre quantique principal (n) .....	62
b. Nombre quantique secondaire (ou azimutal) (l) .....	62
c. Nombre quantique magnétique (m) .....	63
d. Nombre quantique de spin (s) .....	63
IV.5.2. Orbitales atomiques .....	63
IV.5.2.1. Description des orbitales atomiques .....	64
V.. Atomes poly-électroniques en mécanique ondulatoire .....	65
- Règle de Klechowski .....	65
V.3. Règles de remplissages des orbitales atomiques .....	65
a. Principe de la stabilité .....	65
b. Principe de Pauli .....	65
c. Règle de Hund .....	65
V.4. Effet d'écran : approximation de Slater .....	67
V.4.1. Règles de Slater .....	68
V.4.3. Energie d'ionisation .....	71
Exercices .....	73

## **CHAPITRE V Classification périodique des éléments**

I. Classification périodique de MENDELEÏEV .....	78
II. Classification périodique moderne .....	78
III. Principe de construction .....	78
A. Période .....	79
B. Blocs .....	79
C. Groupes chimiques .....	79
D. Gaz rares ou nobles .....	80
E. Métaux et non-métaux .....	81
IV. Evolution de la périodicité des propriétés physico-chimiques des éléments .....	81
IV.1. Rayon atomique (R) .....	81
IV.2. Energie d'ionisation (EI) .....	82
IV.3. Affinité électronique (EA) .....	82
IV.4. Electronegativité .....	83
Echelle de PAULING .....	83
Echelle de MULLIKEN .....	83
Echelle ALLRED et ROCHOW .....	83
Exercices .....	84

## SOMMAIRE

### CHAPITRE VI LIAISONS CHIMIQUES

I. La liaison covalente dans la théorie de LEWIS .....	87
I.1. Couche de valence .....	87
I.2. Les différents types de liaisons .....	88
a. Liaison covalente .....	88
b. Liaison dative ou liaison covalente de coordination : .....	88
c. Liaison ionique .....	88
d. Liaison polarisée .....	88
I.3. Diagramme de LEWIS (modèle de la liaison covalente) .....	88
-Notions de valence excitations des atomes .....	90
-Techniques de construction des schémas de Lewis des molécules .....	92
-Charge formelle .....	92
-Détermination rapide des schémas de Lewis .....	92
II . Liaison covalente polarisée, moment dipolaire et le caractère ionique partiel de la liaison .....	97
II.1. Ionicté des liaisons .....	99
III. Géométrie des molécules .....	99
Méthodes de V.S.E.P.R ou Gellespie .....	99
IV. La liaison chimique dans le modèle quantique .....	105
IV.1. Théorie des orbitales moléculaires (Méthode LCAO) .....	105
a. Formation et nature des liaisons .....	108
-Recouvrement axial : Liaison $\sigma$ .....	108
-Recouvrement latéral conduisant à des liaisons de type $\pi$ .....	108
b. Aspect énergétique .....	109
IV.2. Généralisation aux molécules diatomiques homo-nucléaires .....	110
Généralisation aux molécules hétéro-nucléaire A-B .....	115
IV.3. Molécules poly-atomiques ou théorie de l'hybridation des orbitales atomiques .....	117
IV.3.1. L'hybridation $sp$ (linéaire ou digonale) .....	118
IV.3.12. L'hybridation $sp^2$ (trigonale) .....	118
IV.3.12. L'hybridation $sp^3$ .....	119
Exercices .....	121



## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

**Armand Lattes, Gérard Montel.** Introduction à la chimie structurale. Edition Dunod, 1969, Paris France.

**Christos Comnenellis, Claude K.W. Friedli, Araksi Sahil Migirdicyan.** Exercices de chimie generale. Presse Polytechnique et Universitaire Romande. 2010 Lausanne, Suisse.

**Elisabeth le Masne de Chermont, Arnaud le Masne de Chermont.** Chimie physique, Atomistique-cinétique-Thermodynamique-chimie des solutions- PCEM. Editions Heure de France, 1998, France.

**Maurice Griffé.** Chimie. Presses universitaires de NAMUR, 1998, Belgique.

**Ouahes R., Devallez B.** Chimie générale, édition PUBLISUD, 1997, paris, France.

**Pierre Grécias, J.P. Migeon.** Chimie 1 : Cours et tests d'application, édition TEC-OC, 2003, Paris, France.

**Smail Meziane.** Chimie générale structure de la matière Editions BERTI 2010, Algerie

**Yves Jean.** Les orbitales moléculaires dans les complexes, cours et exercices corrigés. Edition de l'école Polytechnique 2006, France.