

# Table des matières

## Chapitre 1 : Généralités

1. Science et connaissance . . . . .	1
2. Mesure des grandeurs . . . . .	3
2.1. Précision des mesures . . . . .	4
2.2. Les unités de mesure . . . . .	6
2.3. Le traitement des mesures . . . . .	11
3. Le développement de la chimie . . . . .	15
Questions . . . . .	18
Réponses . . . . .	20

## Chapitre 2 : La matière du macroscopique au microscopique

1. La notion de corps pur . . . . .	21
1.1. L'observation et l'expérience . . . . .	21
1.2. Les deux types de corps purs . . . . .	24
2. Discontinuité de la matière : atomes et molécules . . . . .	25
2.1. Atomes et molécules . . . . .	25
2.2. Symboles des éléments . . . . .	29
3. De la molécule à la mole . . . . .	31
3.1. Découverte de l'atome . . . . .	31
3.2. Mole. Nombre d'Avogadro . . . . .	35
4. Nomenclature des éléments. Formules . . . . .	39
Questions . . . . .	41
Réponses . . . . .	42

## Chapitre 3 : Structure de l'atome

1. Le noyau atomique	44
1.1. Le proton	44
1.2. Le neutron	45
1.3. Description du noyau	47
1.4. Stabilité du noyau	48
a- Le défaut de masse	48
b- Population en nucléons	51
1.5. Etude de la radioactivité	55
a- Loi de désintégration radioactive	55
b- Désintégrations successives : équilibre radioactif	57
c- Applications de la radioactivité	60
d- Réactions nucléaires provoquées	62
e- Modèle du noyau	66
2. Les électrons de l'atome	68
2.1. Les premiers modèles	68
a- Modèle de Rutherford (1911)	69
b- L'atome de Bohr (1913)	70
2.2. Modèle de l'atome en mécanique ondulatoire	76
a- Dualité onde-corpuscule	76
b- Principe d'incertitude (Heisenberg, 1926)	79
c- L'équation de Schrödinger	82
d- L'atome d'hydrogène et les ions hydrogénoïdes en mécanique ondulatoire	88
e- Généralisation aux autres atomes	96
f- Configuration électronique des atomes à l'état fondamental	100
Questions	104
Réponses	105

## Chapitre 4 : Structure électronique et propriétés périodiques des éléments

1. Périodicité de la structure électronique	107
1.1. Les séquences de remplissage des couches et des sous-couches	107
1.2. Configurations électroniques des éléments	108
2. Etude de la classification périodique	112
2.1. Forme actuelle du tableau de classification périodique	112
a- Description du tableau	113
b- Caractéristiques des périodes	115
2.2. Représentations graphiques du tableau périodique	117
3. Périodicité des propriétés des éléments	121
3.1. Propriétés directement liées à la structure électronique	121
a- Rayons atomiques	121
b- Energie d'ionisation ( $E_i$ )	122

c- Affinité électronique ( $E_a$ )	123
d- Electronégativité	124
3.2. Autres manifestations de la périodicité	127
3.3. Insuffisances de la classification de la classification périodique	131
a- Positions de l'hydrogène et de l'hélium	131
b- Structure du tableau	131
c- Futures perspectives	132
Questions	134
Réponses	134

## Chapitre 5 : Les liaisons chimiques

1. La liaison ionique	136
1.1. Origine de la liaison ionique	136
1.2. Structure des composés ioniques	137
1.3. Description des structures : maille	142
a- Chlorure de césium CsCl	143
b- Chlorure de sodium NaCl	143
c- Sulfure de zinc ZnS (blende)	144
1.4. Energie réticulaire	145
a- Calcul direct de l'énergie réticulaire	145
b- Calcul indirect de l'énergie réticulaire	147
2. La liaison covalente	149
2.1. Modèle de Lewis	149
a- Cas général : chaque atome contribue à la liaison	150
b- Cas particulier : liaison dative	152
c- Application pratique du modèle de Lewis	153
d- Insuffisances du modèle de Lewis	156
2.2. Modèle en mécanique ondulatoire	157
a- Etude de l'ion moléculaire $H_2^+$	157
b- Généralisation : molécules diatomiques de mêmes noyaux (ou homonucléaires)	163
c- Molécules diatomiques de noyaux différents (hétéronucléaires)	170
d- Molécules polyatomiques	174
Questions	188
Réponses	189

## Chapitre 6 : Les différents états de la matière

1. Etude des gaz	191
1.1. Lois des gaz	192
a- Loi de Boyle-Mariotte	192
b- Loi de Charles	193

c- Loi d'Avogadro	194
d- Loi des gaz parfaits	194
1.2. Théorie cinétique des gaz	195
a- Pression du gaz	195
b- Température	196
c- Distribution des vitesses des molécules	197
d- Théorie cinétique et lois des gaz	198
1.3. Gaz réels	199
a- Equation de van der Waals	199
b- Libre parcours moyen	203
2. Les états liquides et solides	204
2.1. Liaisons intermoléculaires	204
a- Attraction dipôle-dipôle (Keesom, 1912)	204
b- Attraction dipôle instantané-dipôle induit	205
c- Attraction dipôle permanent-dipôle induit	206
2.2. L'état liquide	206
a- Modèle pour l'état liquide	206
b- Equilibre liquide-vapeur	207
c- Tension superficielle	209
d- Les cristaux liquides	211
2.3. L'état solide	212
a- Les 14 réseaux cristallins	213
b- La diffraction des rayons X	214
c- Les différents types de réseaux cristallins	216
d- Théorie des bandes	221
2.4. Le changement d'état physique	222
a- Courbe d'analyse thermique	223
b- Diagrammes de phases	224
3. Les solutions	225
3.1. Les facteurs de solubilité	226
a- Influence de la structure	226
b- Influence de la température et de la pression	227
3.2. Diagrammes de phases	229
a- Diagrammes liquide-solide	229
b- Diagrammes liquide-vapeur	230
c- Diagrammes liquide-liquide	234
3.3. Propriétés colligatives des solutions	236
a- Cryoscopie et ébullioscopie	236
b- Osmose	237
4. Les colloïdes	239
4.1. Propriétés générales des colloïdes	241
a- Détection de l'état colloïdal	241
b- Propriétés des particules dispersées	241
c- Coagulation de l'état colloïdal	242
4.2. Classification des colloïdes	243
a- Colloïdes lyophiles	243

b- Colloïdes lyophobes	243
c- Gels	244
Questions	245
Réponses	246

## Chapitre 7 : Chaleur de réaction

1. Généralités	248
1.1. Notions de base	248
a- Système	248
b- Etat, fonction d'état, équation d'état	248
c- Transformation d'un système	250
1.2. Principe zéro de la thermodynamique	252
1.3. Chaleur et travail	254
a- Notion de chaleur	254
b- Notions de travail	257
2. Le premier principe de la thermodynamique	259
2.1. Enoncé du premier principe	259
a- Equivalence travail-chaleur	259
b- Généralisation à une transformation non cyclique	260
c- Expression différentielle du premier principe	262
d- Notion d'enthalpie	263
2.2. Application du premier principe au gaz parfait	263
a- Loi de Joule	264
b- Relation de Meyer	265
c- Détentes réversibles d'un gaz parfait	266
2.3. Application du premier principe aux chaleurs de réaction	270
a- Réactions à volume constant	270
b- Réactions à pression constante	271
c- Comparaison de $Q_p$ et $Q_v$ et exemples	271
d- Conclusions	272
3. Etude des enthalpies de réaction	273
3.1. Enthalpies de formation	273
a- Définitions	273
b- Représentation des enthalpies de formation	274
3.2. Enthalpie de liaison	274
a- Liaison covalente	274
b- Liaison ionique	276
c- Liaisons intermoléculaires	276
3.3. Détermination des enthalpies de réaction	277
a- Mesure des enthalpies de réaction	277
b- Détermination indirecte des chaleurs de réaction	279
3.4. Influence de la température sur l'enthalpie de réaction	283

Questions	285
Réponses	286

## Chapitre 8 : Equilibres chimiques

1. Le second principe de la thermodynamique	287
1.1. Enoncé du second principe	287
a- Evolution spontanée d'un système	287
b- Intervention du milieu extérieur	288
1.2. La fonction entropie	290
a- Inégalité de Clausius	290
b- Notion d'entropie	292
c- Exemples de variation d'entropie	296
d- Entropie absolue	300
e- Entropie d'une réaction chimique	304
1.3. La fonction enthalpie libre	306
a- Evolution d'un système non isolé	306
b- Application aux réactions chimiques	307
c- Calcul d'enthalpies libres	309
d- Influence de la température sur l'enthalpie libre	310
2. Etude des équilibres chimiques	311
2.1. Généralités	311
a- Mise en évidence des équilibres chimiques	311
b- Description des équilibres chimiques	313
2.2. La constante d'équilibre	316
a- Enthalpie libre et état d'équilibre	316
b- Loi d'action de masse	318
c- Variation de la constante d'équilibre avec la température	321
2.3. Les facteurs d'équilibre	324
a- Principe de Le Chatelier (1888)	325
b- Variance d'un système en équilibre	328
2.4. Applications pratiques de systèmes en équilibre	332
a- Équilibres de dissociation en milieu homogène	332
b- Rendement maximal d'un équilibre	334
Questions	336
Réponses	338

## Chapitre 9 : Acides, bases et sels

1. Généralités sur les solutions ioniques	339
1.1. Etude de la dissociation ionique	340
a- Mise en évidence d'ions en solution	340
b- Mécanisme de la dissociation ionique	341
c- L'équilibre de dissociation	342
1.2. L'autoionisation de l'eau : le pH	345

a- Le produit ionique de l'eau . . . . .	345
b- Le pH d'une solution aqueuse . . . . .	346
2. Définition et force des acides et des bases . . . . .	348
2.1. Définition des acides et des bases . . . . .	348
a- Définition générale : Bronsted et Lowry (1923) . . . . .	349
b- Applications de la définition de Bronsted et Lowry . . . . .	350
2.2. Force des acides et des bases . . . . .	352
a- Acides et bases forts . . . . .	352
b- Acides et bases faibles . . . . .	353
c- Forces relatives des acides et des bases . . . . .	355
d- Origine de la force des acides et des bases . . . . .	356
e- Influence de la température sur la dissociation . . . . .	358
3. Le pH des acides et des bases . . . . .	358
3.1. Acides et bases forts . . . . .	358
3.2. Acides et bases faibles . . . . .	359
a- Calcul classique . . . . .	359
b- Calcul rigoureux du pH . . . . .	360
3.3. Indicateurs colorés . . . . .	362
a- Définition et propriétés des indicateurs colorés . . . . .	362
b- Exemples d'indicateurs colorés . . . . .	364
4. Mélanges acide-bases en solution aqueuse . . . . .	365
4.1. Mélange acide fort-base forte . . . . .	366
4.2. Mélange acide faible-base forte . . . . .	369
a- $c_b V_b < c_a V_a$ . . . . .	369
b- $c_b V_b = c_a V_a$ : équivalence . . . . .	370
c- $c_b V_b > c_a V_a$ . . . . .	371
d- Courbe de neutralisation d'un acide faible par une base forte . . . . .	371
4.3. Mélange acide fort-base faible . . . . .	374
a- $c_a V_a < c_b V_b$ . . . . .	374
b- $c_a V_a = c_b V_b$ . . . . .	374
c- $c_a V_a > c_b V_b$ . . . . .	374
d- Courbe de neutralisation . . . . .	375
4.4. Mélange acide faible-base faible . . . . .	376
4.5. Polyacides et polybases . . . . .	379
5. Les sels en solution . . . . .	380
5.1. Définition et exemples . . . . .	380
5.2. Etude des sels solubles . . . . .	382
a- Sel d'acide fort et de base forte . . . . .	383
b- Sel $BH^+A^-$ d'acide fort HA et de base faible B . . . . .	383
c- Sel $M^+A^-$ de base forte $OH^-$ et d'acide faible HA . . . . .	383
d- Sel $BH^+A^-$ d'acide faible HA et de base faible B . . . . .	384
e- Conclusions . . . . .	384
5.3. Etude des sels peu solubles . . . . .	385
a- Produit de solubilité et solubilité . . . . .	385
b- Déplacement de l'équilibre de solubilité . . . . .	387

Questions	390
Réponses	391

## Chapitre 10 : Oxydo-réduction

1. Notions de base	393
1.1. Définitions	393
a- A partir des éléments	393
b- A partir des charges des ions	394
c- Nombre d'oxydation	395
1.2. Applications du nombre d'oxydation	398
a- Oxydants et réducteurs	398
b- Détermination des coefficients d'une équation de réaction	398
2. Electrochimie	401
2.1. Potentiel d'électrode	401
a- Mise en évidence des phénomènes électriques dans l'oxydo-réduction	401
b- Equation de Nernst	402
c- Echelle des potentiels d'électrodes	403
2.2. Applications	406
a- Prévion des réactions	406
b- Comparaison des pouvoirs oxydants (ou réducteurs) des systèmes	406
c- Dosages d'oxydo-réduction : potentiométrie	407
d- Piles électrochimiques	409
2.3. Oxydo-réduction et pH	411
a- Principe du pHmètre	411
b- Diagrammes potentiel-pH	412
2.4. Remarques importantes	414
Questions	415
Réponses	416

## Chapitre 11 : Vitesse de réaction

1. Introduction	417
1.1. Notion de vitesse de réaction	417
a- Observations expérimentales	417
b- Définition de la vitesse de réaction	418
1.2. Mécanismes de réactions	419
2. Etude des réactions élémentaires	421
2.1. Moléclarité et loi de vitesse	421
a- Réactions monomoléculaires	421
b- Réactions bimoléculaires	421
c- Réactions trimoléculaires	422



d- Exemple d'interprétation des mécanismes . . . . .	422
2.2. Etude des facteurs de vitesse . . . . .	423
a- Structure des molécules . . . . .	424
b- Energie des molécules . . . . .	425
2.3. Etude de l'activation . . . . .	426
a- Loi d'Arrhénius . . . . .	426
b- Thermodynamique de l'activation . . . . .	426
2.4. Catalyse . . . . .	428
a- Catalyse homogène . . . . .	429
b- Catalyse hétérogène . . . . .	433
3. Réactions complexes . . . . .	434
3.1. Réactions d'ordre 1 . . . . .	435
3.2. Réactions d'ordre 2 . . . . .	436
3.3. Généralisation aux réactions d'ordre quelconque $n$ différent de 1 . . . . .	437
3.4. Réactions concomitantes . . . . .	438
3.5. Interprétation des lois de vitesse . . . . .	439
4. Détermination de l'ordre . . . . .	441
4.1. Ordre simple . . . . .	442
4.2. Ordre quelconque . . . . .	442
Questions . . . . .	445
Réponses . . . . .	446