

Table des matières

Introduction	1
Partie 1. Nanomatériaux et nanotechnologies	7
Chapitre 1. Les nanomatériaux carbonés	9
1.1. Les fullerènes.	10
1.1.1. Propriétés des fullerènes.	11
1.1.1.1. Électrophilie des fullerènes et propriétés antioxydantes	11
1.1.1.2. Réactivité chimique et exo-fonctionnalisation.	13
1.1.1.3. Les endométallofullerènes (EMF).	13
1.1.1.4. Les endocluster-fullerènes (ECF)	14
1.1.1.5. Les fullerènes en forme d'oignons (OLF – <i>Onion-Like Fullerenes</i>)	16
1.2. Les nanodiamants (ND) de carbone	17
1.2.1. Principales techniques de préparation des nanodiamants (ND) . .	17
1.2.2. Principales propriétés des nanodiamants	19
1.2.2.1. Fluorescence des nanodiamants (FND).	19
1.2.2.2. Dopage des ND par le bore (BDD – <i>Boron</i> <i>Doped Diamonds</i>)	21
1.3. Les <i>Carbon Dots</i> ou <i>Carbon Quantum Dots</i> (CQD).	22
1.3.1. Méthodes d'obtention des CQD	23
1.3.2. Propriétés de fluorescence des CQD.	24
1.3.3. Applications des CQD	27

1.4. Les nanotubes de carbone (CNT)	27
1.4.1. Chiralité des nanotubes de carbone	30
1.4.2. Les modèles mécanistiques de croissance des CNT	32
1.4.2.1. Les méthodes conventionnelles de séparation d'un mélange de SWCNT	36
1.4.3. Réseaux de CNT alignés horizontalement ou perpendiculairement à un substrat plan	38
1.4.3.1. Réseaux de CNT alignés verticalement (VACNT)	38
1.4.3.2. Réseaux de CNT alignés horizontalement (HACNT)	39
1.4.4. Quelques propriétés et applications des CNT	41
1.4.4.1. Propriétés électriques	41
1.4.4.2. Propriétés de conduction thermique	42
1.4.4.3. Propriétés mécaniques	42
1.4.4.4. Propriétés de corps noir des CNT	43
1.4.5. Conclusion	44
1.5. Le graphène	44
1.5.1. Propriétés électriques extrêmes du graphène exfolié	45
1.5.2. Les techniques de préparation du graphène	48
1.5.2.1. La méthode CVD sur catalyseur solide	48
1.5.2.2. La méthode CVD sur catalyseur liquide	50
1.5.2.3. La méthode CVD adaptée à une production à grande échelle	52
1.5.2.4. Les méthodes chimiques d'obtention d'un graphène « réduit » rGO à partir de l'oxyde de graphène (GO)	55
1.5.3. Quelques applications du graphène et de ses dérivés	59
1.5.3.1. Oxyde de graphène (GO)	60
1.5.3.2. Papier graphène : un feuillet semi-métallique rGO, obtenu après réduction de l'oxyde de graphène (GO)	62
1.5.3.3. Fibres de graphène (GF)	65
1.5.3.4. Les nanocomposites graphène-polymère	68
1.5.4. Conclusion	71
1.6. Les <i>Quantum Dots</i> de graphène (GQD)	71
1.6.1. Méthodes de fabrication des GQD	72
1.6.1.1. Méthodes de fabrication des GQD de type <i>Top-Down</i>	72
1.6.1.2. Méthodes de fabrication des GQD de type <i>Bottom-Up</i>	73
1.6.2. Propriétés et applications des GQD	75
1.6.2.1. Les propriétés de photoluminescence des GQD	75
1.6.2.2. Quelques applications des GQD	77

1.6.3. Le graphdiyne (GDY) : l'étoile montante concurrente du graphène	80
1.6.3.1. Propriétés du graphdiyne	82
1.6.3.2. Quelques applications spécifiques du graphdiyne.	83
1.6.3.3. Une structure modifiée du GDY comme super-cathode des batteries Li-ion.	85
1.7. Conclusions relatives aux nanomatériaux carbonés	86
Chapitre 2. Les nanomatériaux inorganiques.	89
2.1. Les nanoparticules métalliques	90
2.1.1. Les nanoparticules d'or (AuNP)	91
2.1.1.1. Les méthodes chimiques de synthèse en phase liquide.	91
2.1.2. Nanoparticules bimétalliques de type cœur-coquille	94
2.2. Les agrégats d'atomes métalliques (MNC – <i>Metal Nanoclusters</i>).	97
2.2.1. Méthodes de préparation des nanoclusters d'or (AuNC)	98
2.2.2. Structure et critères de stabilité des AuNC	101
2.2.3. Propriétés de luminescence des AuNC	102
2.2.4. Quelques applications des AuNC résultant de leurs propriétés de luminescence.	106
2.2.5. Conclusion	108
2.3. Les boîtes quantiques semi-conductrices ou <i>Quantum Dots</i> semi-conducteurs (QD)	109
2.3.1. Les progrès récents d'obtention des QD colloïdaux.	109
2.4. Les nanofeuillets lamellaires inorganiques bidimensionnels	115
2.4.1. Dichalcogénures de métaux de transition (TMD)	116
2.4.1.1. Décoration en surface des TMD par des métaux précieux et par des oxydes métalliques	117
2.4.1.2. Nanocomposites TMD-matériaux carbonés et minéraux	120
2.4.2. Conclusion	125
2.5. Les réseaux hybrides organométalliques (MOF – <i>Metal</i> <i>organic Frameworks</i>)	125
2.5.1. Méthodes de fabrication des MOF	125
2.5.1.1. Méthode de réticulation	126
2.5.1.2. Méthode épitaxiale de croissance d'un MOF	128
2.5.1.3. Méthodes post-synthétiques	129
2.5.1.4. Méthodes de formation de canaux organométalliques par auto-assemblage d'entités organométalliques de faible dimensionalité	130

2.5.2. Applications potentielles des MOF	131
2.5.2.1. Stockage et séparation des gaz	131
2.5.2.2. Luminescence et dispositifs de détection d'espèces chimiques	135
2.5.2.3. Conduction protonique	139
2.5.3. Conclusions	141
2.6. Conclusions relatives aux nanomatériaux inorganiques.	141

Partie 2. Impact des nanotechnologies et des nanomatériaux dans le domaine de l'énergie. 143

Chapitre 3. Stockage de l'énergie 145

3.1. Un aperçu de l'énergie dans le monde	145
3.2. Systèmes de stockage de l'énergie	147
3.2.1. Les systèmes de stockage autres que chimiques et électrochimiques	147
3.2.2. Les systèmes de stockage chimique et électrochimique	148
3.2.3. Les batteries rechargeables	151
3.2.3.1. Principe de fonctionnement d'une batterie aux ions Li ⁺ (LIB)	152
3.2.3.2. Importance des LIB parmi les autres batteries rechargeables	154
3.2.3.3. Vers des batteries aux ions lithium plus performantes	158
3.2.3.4. L'anode de lithium métallique : les dysfonctionnements et leur résolution	160
3.2.3.5. Les batteries ion-lithium avec anode de silicium	165
3.2.3.6. L'anode de lithium-métal associée à des électrolytes solides	172
3.2.3.7. Vers les batteries de forte énergie Li métal et à cathodes à conversion	179
3.2.3.8. Les perspectives des batteries aux ions sodium	190
3.2.3.9. Les microbatteries (MB) en films minces et leur utilisation	196
3.2.4. Les supercapacités	200
3.2.4.1. Influence de la porosité des films sur les valeurs des supercapacités	202
3.2.4.2. Le graphène comme matériau de base des supercapacités.	203
3.2.5. Pseudo-capacités	205
3.2.6. Conclusions relatives au stockage de l'énergie.	209

Chapitre 4. Conversion de l'énergie	211
4.1. Le photovoltaïque	212
4.1.1. Principes généraux relatifs à un processus photovoltaïque.	213
4.1.2. Les différentes filières photovoltaïques	216
4.1.2.1. Les cellules photovoltaïques actuelles	216
4.1.2.2. La filière organique des cellules photovoltaïques (OPV)	219
4.1.2.3. La filière des cellules photovoltaïques à colorant (DSSC – <i>Dye Sensitized Solar Cells</i>)	229
4.1.2.4. Les cellules solaires à pérovskites (PSC).	235
4.2. L'électroluminescence, l'éclairage et l'affichage.	242
4.2.1. Les diodes électroluminescentes inorganiques (ILED)	243
4.2.1.1. L'électroluminescence dans une homojonction p-n ou une double hétérojonction p-i-n	244
4.2.1.2. L'émission de lumière bleue et la production de lumière blanche (WLED)	245
4.2.1.3. Problèmes inhérents au fonctionnement des LED	247
4.2.2. Les diodes électroluminescentes organiques (OLED)	251
4.2.2.1. Structure type d'une OLED.	252
4.2.2.2. Les OLED phosphorescentes	255
4.2.2.3. Les OLED à fluorescence retardée de type P et E.	258
4.2.3. Les diodes électroluminescentes à QDots (QLED)	263
4.2.3.1. Des QLED transparentes et flexibles	265
4.2.3.2. Des écrans à QLED couplés à des dispositifs électroniques portables	266
4.3. Conclusions relatives à la conversion de l'énergie.	267
 Chapitre 5. Électro- et photo-électrocatalyse	 269
5.1. Électrolyse de l'eau (<i>water splitting</i>)	270
5.2. Les techniques d'électrolyse.	271
5.3. Les processus HER et OER d'électrolyse de l'eau.	275
5.3.1. HER en milieu acide	275
5.3.1.1. Les principaux catalyseurs à base de Ni et Mo	276
5.3.1.2. MoS ₂ et ses sites actifs.	277
5.3.1.3. Matériaux 2D poreux, conducteurs et exempts de métaux	283
5.3.1.4. HER et catalyse par atomes isolés (<i>Single Atom Catalysts</i>).	285
5.3.2. HER en milieu alcalin	293

5.3.3. Conclusions relatives aux réactions HER	298
5.3.4. Catalyse du processus OER (<i>Oxygen Evolution Reaction</i>).	299
5.3.4.1. OER en milieu alcalin	299
5.3.4.2. OER en milieu acide.	308
5.3.4.3. Conclusions relatives aux processus OER	314
5.4. Les réactions photo-électrochimiques de décomposition de l'eau	315
5.4.1. Photocatalyseurs hétérogènes	318
5.4.2. Systèmes photocatalytiques d'hétérojonctions à deux SC	319
5.4.2.1. Nanostructuration	320
5.4.2.2. Le graphène comme support de photocatalyseurs.	321
5.4.3. Conclusions	323
5.5. Les piles à combustibles	324
5.5.1. Principe de fonctionnement d'une pile à combustible	325
5.5.2. Choix des catalyseurs de réduction de O ₂ (ORR)	327
5.5.2.1. Catalyseurs à faible teneur en métaux précieux	328
5.5.2.2. Catalyseurs à base de métaux non précieux	330
5.5.3. Conclusions relatives à l'électrocatalyse et à la photocatalyse	333
Conclusion	335
Bibliographie	339
Index	393