

Table des matières

Préface	11
Jean-Charles POMEROL	
Avant-propos	15
Remerciements	29
Introduction	31
Partie 1. Matière informée programmable et impression 4D	39
Introduction de la partie 1	41
Chapitre 1. Matière programmable ou matière informée, organisation stimulée, 4D printing	53
1.1. Introduction	54
1.2. Auto-organisation naturelle (spontanée)	56
1.2.1. Non-linéarités	56
1.2.2. Atteinte de la forme souhaitée ?	59
1.3. Matière informée	62
1.3.1. Polymères actifs – Muscles photochimiques	64
1.3.1.1. Transformations photochimiques	64
1.3.1.2. Effets thermiques sur des polymères	68
1.3.1.3. Autres systèmes	70
1.3.2. Modifications physiques	74
1.3.3. Déformation de pièces métalliques	76

1.3.3.1. Gouttes	76
1.3.3.2. Architectures magnétiques orientées	76
1.3.3.3. Alliages à mémoire de forme	76
1.3.4. Conclusion	78
1.4. Une transition vers l'impression 4D : les robots nageurs	78
1.5. Impression 4D	83
1.5.1. Automates et robots.	86
1.5.2. Origamis	91
1.5.3. Octobot	94
1.5.4. Objets massifs	95
1.6. Conclusion	97
1.7. Bibliographie	100

Partie 2. Matière informée vivante et bio-impression (*bioprinting*) 117

Introduction de la partie 2. 119

Chapitre 2. Technologies du *bioprinting* 141

2.1. Introduction.	142
2.2. Complexité tissulaire	146
2.3. Technologies de <i>bioprinting</i>	154
2.3.1. Préparation des cellules	158
2.3.2. Technologies génériques de <i>bioprinting</i>	160
2.3.2.1. Numérisation de l'échafaudage	161
2.3.2.2. Procédés	163
2.3.2.3. Options commerciales	170
2.3.3. Matériaux.	171
2.3.3.1. Matériaux biocompatibles.	171
2.3.3.2. Matériaux vivants	174
2.3.4. Couplages procédés-matériaux	176
2.3.5. Croissance cellulaire ultérieure	178
2.4. Remarque <i>4D-bioprinting</i>	180
2.5. Autres applications	180
2.5.1. Applications biologiques	180
2.5.2. Se nourrir grâce au <i>bioprinting</i> ?	182
2.5.3. Bioluminescence et électronique	182
2.5.4. <i>Bio-bots</i> ou <i>soft robots</i> réalisés en fabrication additive de type <i>bioprinting</i>	182
2.6. Conclusion	185

2.7. Annexe : impression 3D pour applications biologiques	187
2.8. Remarque : système à échafaudage naturel	188
2.9. Bibliographie	189

Chapitre 3. Quelques exemples de tissus bio-imprimés 3D 209

3.1. Introduction	210
3.2. Travaux sur le cartilage	212
3.2.1. Généralités sur le cartilage	214
3.2.1.1. Définition	214
3.2.1.2. Difficultés à prendre en compte lors de la conception d'une surface cartilagineuse	216
3.2.2. Défauts cartilagineux et traitements	217
3.2.2.1. Considérations économiques et contraintes (Denis, 2017 ; Gelen-Klinik, 2016)	217
3.2.3. Bio-impression de cartilage	218
3.2.3.1. Techniques de <i>bioprinting</i> pour les tissus ostéo-articulaires	219
3.2.3.2. Analyse concernant les différents matériaux utilisés et leur utilité	222
3.2.4. Résultats principaux	223
3.3. <i>Bioprinting</i> de la peau	228
3.3.1. Généralités sur la peau	229
3.3.2. <i>Bioprinting</i> de la peau	231
3.3.3. Conclusion	236
3.4. Os	236
3.4.1. Généralités sur la composition de l'os	237
3.4.1.1. Composition chimique	238
3.4.2. <i>Bioprinting</i> de l'os	239
3.4.2.1. Matériaux inertes et échafaudages	240
3.4.2.2. Autres éléments	241
3.4.3. Conclusion	241
3.5. <i>Bioprinting</i> et cancer	242
3.5.1. Exemples	243
3.5.1.1. Hétérogénéité tumorale	243
3.5.1.2. Angiogenèse et vascularisation tumorale	244
3.5.1.3. Recherche fondamentale	244
3.5.2. Conclusions et perspectives	245
3.6. Conclusion	246
3.7. Bibliographie	248

Chapitre 4. Questions éthiques et responsables	259
4.1. Introduction	260
4.2. Réflexion sur l'acceptabilité du <i>bioprinting</i>	261
4.2.1. Résultats bruts de l'enquête	263
4.2.1.1. Analyse critique des résultats bruts	272
4.2.1.2. Analyses croisées.	276
4.2.2. Discussion générale : à qui se fier ?	279
4.2.3. Conclusion provisoire	280
4.3. Éthique et <i>bioprinting</i>	286
4.3.1. Éléments de cadrage	289
4.3.2. Retour sur le concept d'éthique.	294
4.3.3. Que peut-on envisager ?	300
4.3.3.1. La recherche ; vers une approche responsable.	301
4.3.3.2. Comités d'éthique	305
4.3.3.3. Applications.	310
4.3.3.4. A-t-on le temps avec nous ?	312
4.3.4. Pour conclure	314
4.4. Gouvernance de la recherche en <i>bioprinting</i> :	
maîtriser la convergence	318
4.4.1. Retour sur l'impression 3D	319
4.4.1.1. Fabrication additive	319
4.4.1.2. <i>Bioprinting</i>	320
4.4.2. Promesses de la convergence NBIC et du <i>bioprinting</i>	322
4.4.2.1. Convergence NBIC	322
4.4.2.2. Convergence BP	323
4.4.2.3. Différences et associations entre promesses	324
4.4.3. Convergence	325
4.4.4. Comparaisons	326
4.4.4.1. Retour rapide sur l'interdisciplinarité	326
4.4.4.2. Des faits concernant la convergence NBIC	327
4.4.4.3. Des faits concernant la convergence BP	329
4.4.4.4. Pratique de l'interdisciplinarité	329
4.4.5. Questions épistémologiques.	331
4.4.5.1. Épistémologie.	332
4.4.5.2. Conduite de projet interdisciplinaire	333
4.4.5.3. Conséquences.	334
4.5. Conclusion	336
4.6. Bibliographie.	338

Chapitre 5. Questions d'épistémologie et de modélisation	355
5.1. Introduction	356
5.2. L'approche EP (vue par un possible divergent, plutôt HE) (André et Larger, 2016)	364
5.3. L'approche HE	369
5.4. Complexité et <i>bioprinting</i>	373
5.4.1. Complexité ?	374
5.4.2. Une première réflexion pour l'action	380
5.5. Retour sur la complexité	385
5.5.1. Complexité et approche système	390
5.5.1.1. Déterminisme et chaos	393
5.5.1.2. Des rappels et des définitions en systémique	395
5.5.1.3. « Théorie générale des systèmes » (Von Bertalanfy, 2012)	399
5.6. Bases de réflexion sur la modélisation	400
5.6.1. Méthodes de tir ou de Monte-Carlo	400
5.6.2. Analogie avec des travaux de David Bohm ?	404
5.6.3. Différenciation cellulaire	405
5.6.4. Changement(s) d'échelle(s)	407
5.6.5. Des questions pour une modélisation réaliste	408
5.6.6. Mise à disposition d'un repère opératoire	409
5.6.7. Méthodologie organisationnelle	410
5.7. Conclusion	416
5.8. Bibliographie	420
 Conclusion	 435
 Postface	 439
 Index	 461
 Sommaire de <i>De la fabrication additive à l'impression 3D/4D 1</i>	 463
 Sommaire de <i>De la fabrication additive à l'impression 3D/4D 2</i>	 465