

# Table des matières

<b>Préface</b> . . . . .	1
Daniel PARROCHIA	
<b>Introduction</b> . . . . .	7
<b>Chapitre 1. Sur le statut de la biologie : sur la définition de la vie</b> .	13
1.1. La causalité en biologie. . . . .	17
1.1.1. Le vitalisme . . . . .	20
1.1.2. La téléologie . . . . .	22
1.2. La variabilité en biologie. . . . .	25
1.2.1. Temps-dépendance des processus biologiques. . . . .	28
1.2.2. Milieu-dépendance des processus biologiques . . . . .	29
<b>Chapitre 2. Sur la nature de l'apport des mathématiques à la biologie</b> . . . . .	31
2.1. Sur l'affinité des mathématiques avec la biologie . . . . .	32
2.2. Les mathématiques, instrument de travail et de pensée de la biologie .	37
<b>Chapitre 3. Quelques repères historiques : la biologie façonnée par les mathématiques</b> . . . . .	47
3.1. Les premières étapes biomathématiques marquantes . . . . .	49
3.1.1. Sur le continu en biologie . . . . .	49
3.1.2. Sur le discret en biologie. . . . .	51
3.1.3. La notion de loi en biologie . . . . .	55

---

3.1.4. Les débuts de la science classique : Descartes et Pascal . . . . .	56
3.1.5. Buffon et les réticences sur l'utilité des mathématiques en biologie . . . . .	57
3.1.5.1. Sur la position épistémologique de Buffon. . . . .	59
3.2. Quelques apports pertinents de l'époque moderne . . . . .	60
3.2.1. Les lois de croissance . . . . .	60
3.2.2. La génétique formelle . . . . .	61
3.2.2.1. Les lois de Mendel . . . . .	62
3.2.2.2. La génétique des populations. . . . .	63
3.2.2.3. La génétique quantitative . . . . .	64
3.2.2.4. Le point de vue probabiliste . . . . .	66
3.2.2.5. L'approche algébrique. . . . .	67
3.3. Introduction de la notion de modèle probabiliste en biologie . . . . .	68
3.4. La physiologie de C. Bernard : l'appel aux mathématiques . . . . .	70
3.5. Le principe d'optimalité en biologie . . . . .	72
3.6. Introduction du formalisme des systèmes dynamiques en biologie . . . . .	73
3.7. Morphogenèse : nécessité des mathématiques pour l'étude des formes biologiques. . . . .	76
3.7.1. Les principes généraux selon D'Arcy Thompson . . . . .	77
3.7.2. Les systèmes de réaction-diffusion de Turing : la morphogenèse, une « brisure de symétrie » . . . . .	81
3.8. La théorie des automates et la cybernétique en biologie . . . . .	82
3.8.1. La théorie des automates. . . . .	83
3.8.2. L'apport de la cybernétique . . . . .	85
3.8.3. Le cas des L-systèmes . . . . .	86
3.8.4. Les réseaux de Petri . . . . .	87
3.9. La biologie moléculaire. . . . .	91
3.9.1. Sur l'information génétique . . . . .	94
3.9.2. Le modèle linguistique en biologie. . . . .	96
3.10. Information et communication, notions prégnantes en biologie . . . . .	97
3.11. La propriété d'auto-organisation en biologie . . . . .	99
3.11.1. Auto-organisation structurale . . . . .	100
3.11.2. Hypercycle autoreproducteur . . . . .	100
3.12. La biologie systémique . . . . .	102
3.12.1. Sur la notion de système . . . . .	102
3.12.2. Essai d'une biologie relationnelle. . . . .	103
3.12.3. Émergence et complexité. . . . .	106
3.12.4. Les réseaux . . . . .	111
3.12.4.1. Réseaux aléatoires . . . . .	113
3.12.4.2. Réseaux petit monde . . . . .	114
3.12.4.3. Réseaux invariants d'échelle . . . . .	114

3.12.5. Ordre, innovation et réseaux complexes . . . . .	117
3.13. La théorie des jeux en biologie . . . . .	118
3.14. La vie artificielle . . . . .	122
3.14.1. Les automates biomimétiques . . . . .	123
3.14.2. Psychophysiologie et mathématiques : contrôle de l'apprentissage . . . . .	124
3.15. La bio-informatique . . . . .	125
<b>Chapitre 4. Lois et modèles en biologie . . . . .</b>	<b>127</b>
4.1. Lois biologiques en langage littéraire . . . . .	130
4.1.1. La loi des corrélations organiques de Cuvier (1825) . . . . .	130
4.1.2. La loi biogénétique fondamentale . . . . .	130
4.2. Lois biologiques en langage mathématique . . . . .	132
4.2.1. Lois statistiques . . . . .	133
4.2.1.1. La loi d'allométrie . . . . .	134
4.2.1.2. Allométrie physiologique ou métabolique . . . . .	138
4.2.1.3. Allométrie physiologique et croissance : la théorie de Bertalanffy . . . . .	140
4.2.1.4. Lois d'action d'un facteur : relations effet/concentration . . . . .	141
4.3. Lois théoriques . . . . .	143
4.3.1. Génétique formelle . . . . .	143
4.3.2. Lois de croissance . . . . .	144
4.3.3. Dynamique des populations . . . . .	145
<b>Chapitre 5. Outils et concepts mathématiques en biologie . . . . .</b>	<b>147</b>
5.1. Un vieux sujet de biomathématique : décrire et/ou expliquer la phyllotaxie . . . . .	148
5.2. La notion d'invariant et son substrat : le temps et l'espace . . . . .	153
5.2.1. Temps physique/temps biologique . . . . .	154
5.2.1.1. Le temps physiologique de Lecomte du Noüy (1936) . . . . .	154
5.2.1.2. Le temps biologique de Backman (1942) . . . . .	155
5.2.1.3. Le temps plastochronique chez les végétaux d'Erickson (1957) . . . . .	155
5.2.1.4. Le changement d'état du système . . . . .	155
5.2.2. Espace métrique/espace non métrique . . . . .	156
5.2.2.1. Espace métrique . . . . .	156
5.2.2.2. Espace non métrique . . . . .	158
5.2.3. Processus multi-échelles . . . . .	160
5.3. Le formalisme continu . . . . .	160

5.3.1. Dynamique d'un processus univarié . . . . .	160
5.3.2. Les modèles structurés . . . . .	161
5.3.2.1. La fonction univariée de Gompertz . . . . .	162
5.3.2.2. Les modèles à plusieurs compartiments . . . . .	163
5.3.3. Dynamique oscillatoire. . . . .	164
5.3.4. Sur la stabilité des systèmes dynamiques . . . . .	166
5.3.4.1. La stabilité structurelle, postulat implicite des systèmes dynamiques . . . . .	166
5.3.4.2. Le paradoxe de l'enrichissement : le modèle de Rosenzweig-MacArthur . . . . .	169
5.3.4.3. Stabilité et contrôle optimal d'un processus . . . . .	172
5.3.5. Modèles structurés multivariés . . . . .	174
5.3.5.1. Le modèle de Droop . . . . .	174
5.3.5.2. Les modèles de cinétique enzymatique . . . . .	174
5.3.6. Dynamique de processus spatio-temporels . . . . .	177
5.3.6.1. Modèles de croissance-diffusion-advection . . . . .	177
5.3.6.2. Modèles de réaction-diffusion . . . . .	178
5.3.6.3. Modèles de champ . . . . .	181
5.3.6.4. La notion d'hypercycle . . . . .	185
5.3.7. Modèles multi-échelles. . . . .	185
5.4. Le formalisme discret . . . . .	188
5.5. Modèles spatialisés . . . . .	189
5.5.1. Modèles multi-agents : dynamique d'une association biologique de type individus-centrés . . . . .	189
5.5.2. Modèles électrophysiologiques : transmission de signaux électriques . . . . .	191
5.6. Les processus aléatoires en biologie . . . . .	192
5.6.1. Processus de Poisson . . . . .	195
5.6.2. Processus de naissance-mort . . . . .	196
5.7. Cinétique logique de régulation . . . . .	198
<b>Conclusion . . . . .</b>	<b>203</b>
<b>Glossaire . . . . .</b>	<b>217</b>
<b>Bibliographie . . . . .</b>	<b>233</b>
<b>Index . . . . .</b>	<b>237</b>