

# Table des matières

<b>Introduction</b> . . . . .	1
Ernesto DI MAURO	
<b>Chapitre 1. L'émergence de conditions propices à la vie dans l'univers</b> . . . . .	21
Juan VLADILO	
1.1. Propriétés caractéristiques de la vie . . . . .	21
1.1.1. Implications des propriétés définies . . . . .	22
1.2. Conditions et environnements propices à la vie . . . . .	26
1.2.1. Ingrédients chimiques . . . . .	26
1.2.2. Conditions physiques. . . . .	28
1.2.3. Mondes habitables . . . . .	29
1.3. Poser les bases pour la chimie et la vie dans l'univers. . . . .	31
1.3.1. Naissances des lois de la chimie . . . . .	31
1.3.2. Production d'éléments chimiques . . . . .	31
1.3.3. Assemblage des molécules prébiotiques . . . . .	33
1.3.4. Origine de l'eau . . . . .	35
1.3.5. Apparition des planètes telluriques. . . . .	35
1.4. Univers habitable . . . . .	36
1.4.1. Zones circumstellaires habitables . . . . .	38
1.4.2. Zones galactiques habitables . . . . .	40
1.5. Environnements planétaires appropriés à l'origine de la vie . . . . .	41
1.5.1. Abiogenèse sur les surfaces planétaires . . . . .	41
1.5.2. Abiogenèse dans les océans. . . . .	43
1.5.3. Implications pour la recherche de vie en dehors de la Terre . . . . .	44
1.6. Quête de mondes habités . . . . .	44
1.7. Bibliographie. . . . .	46

<b>Chapitre 2. Chiralité et les origines de la vie</b> . . . . .	<b>53</b>
Guillaume LESEIGNEUR et Uwe MEIERHENRICH	
2.1. Introduction à la chiralité. . . . .	53
2.2. Asymétrie de la vie . . . . .	57
2.3. Origine de l’homochiralité . . . . .	59
2.3.1. Théories stochastiques . . . . .	59
2.3.2. Théories déterministes . . . . .	61
2.4. Missions spatiales et la recherche de la vie et de ses origines . . . . .	64
2.4.1. Rosetta . . . . .	65
2.4.2. ExoMars . . . . .	67
2.5. Bibliographie. . . . .	70
<b>Chapitre 3. Le rôle du formamide dans la chimie prébiotique.</b> . . . .	<b>79</b>
Raffaele SALADINO, Giovanna COSTANZO et Bruno Mattia BIZZARRI	
3.1. Introduction. . . . .	79
3.2. Effet des minéraux et auto-organisation dans la chimie prébiotique du formamide . . . . .	81
3.2.1. Catalyse de surface et scénarios géochimiques. . . . .	81
3.2.2. Chimiomimésis, circularité et niches thermodynamiques . . . . .	83
3.2.3. Phosphorylation des nucléosides . . . . .	86
3.3. Continuité et complexité des minéraux . . . . .	87
3.4. Sélectivité déterminée par l’énergie . . . . .	91
3.5. Bibliographie. . . . .	93
<b>Chapitre 4. Un éloge de l’imperfection : émergence et évolution du métabolisme.</b> . . . . .	<b>105</b>
Juli PERETÓ	
4.1. De Darwin à Jacob : l’évolution imparfaite . . . . .	105
4.2. Réseaux protométaboliques . . . . .	108
4.3. Promiscuité enzymatique et innovation métabolique . . . . .	112
4.4. Promiscuité, multifonctionnalité et essence de la vie . . . . .	117
4.5. Remerciements. . . . .	120
4.6. Bibliographie. . . . .	120
<b>Chapitre 5. Virus, viroïdes et les origines de la vie</b> . . . . .	<b>127</b>
David DEAMER et Marie-Christine MAUREL	
5.1. Découverte des virus : une histoire brève . . . . .	128

5.2. Diversité virale. . . . .	129
5.3. Structure et fonction virale. . . . .	131
5.4. Virus et génomes de mammifères. . . . .	134
5.5. Rôle des virus dans l'évolution, la santé et les maladies humaines . . .	135
5.6. Viroïdes comme lien vers d'anciennes voies évolutives . . . . .	136
5.7. Origine et évolution des viroïdes . . . . .	137
5.8. Conclusion . . . . .	139
5.9. Bibliographie. . . . .	140

## **Chapitre 6. Sur la validité de la théorie hétérotrophe de l'origine de la vie . . . . . 145**

Antonio LAZCANO

6.1. Introduction. . . . .	145
6.2. Éclatantes années 1920 . . . . .	146
6.3. Coacervats comme modèles de structures précellulaires . . . . .	149
6.4. Évolution précellulaire et l'émergence des cellules . . . . .	152
6.5. Conclusion : Oparin et l'origine de la vie . . . . .	157
6.6. Remerciements. . . . .	158
6.7. Bibliographie. . . . .	159

## **Chapitre 7. Générer une vie sans biochimie en un tube à essai . . . 163**

Juan PÉREZ-MERCADER

7.1. Résumé . . . . .	163
7.2. Introduction. . . . .	164
7.3. Mise en œuvre en laboratoire d'un système fonctionnel artificiel autonome et auto-organisé. . . . .	169
7.4. Encore plus de physique et de chimie travaillant main dans la main : phoenix, autoreproduction par spores, croissance de population et chimiotaxie . . . . .	173
7.5. Conclusion . . . . .	181
7.6. Remerciements. . . . .	182
7.7. Annexes : quelques caractéristiques additionnelles émergentes des protocelles synthétiques sans biochimie activées par PISA. . . . .	183
7.7.1. Comportement chimiotactique . . . . .	183
7.7.2. Comportement adaptatif et click-PISA . . . . .	184
7.7.3. Principe d'exclusion compétitive et PISA iniferter . . . . .	185
7.7.4. PISA et son contrôle par automates chimiques. . . . .	185

7.7.5. Intégrer PISA et le contrôle d'information dans la réaction chimique de Belousov-Zhabotinsky . . . . .	186
7.8. Bibliographie . . . . .	188

## **Chapitre 8. L'hydrothermalisme, facteur d'évolution chimique des systèmes simples semblables à la vie sur la Terre hadéenne.** 193

Kunio KAWAMURA

8.1. Introduction . . . . .	193
8.1.1. Systèmes réalistes semblables à la vie sur la Terre hadéenne . . . . .	193
8.1.2. Eau dans l'univers . . . . .	195
8.1.3. Hypothèse des deux gènes, minéraux et conditions de température . . . . .	198
8.2. Environnements hydrothermaux pour l'évolution chimique des biomolécules . . . . .	201
8.2.1. Source d'énergie . . . . .	201
8.2.2. Température et pression . . . . .	202
8.2.3. Interactions biochimiques . . . . .	203
8.2.4. Minéraux et systèmes thermodynamiquement ouverts . . . . .	204
8.3. Méthodologies hydrothermales pour l'étude de l'origine de la vie. . . . .	205
8.3.1. Contexte technique des outils de recherche sur les réactions hydrothermales . . . . .	205
8.3.2. Développements récents utilisant des systèmes sous flux . . . . .	206
8.4. Monde de l'ARN et hydrothermalisme . . . . .	210
8.4.1. Stabilité et accumulation de l'ARN . . . . .	210
8.4.2. Systèmes semblables à la vie reposant sur l'ARN dans des environnements hydrothermaux. . . . .	213
8.5. Conclusion . . . . .	216
8.6. Remerciements. . . . .	217
8.7. Bibliographie. . . . .	217

## **Chapitre 9. Études de protométabolismes assistés par des minéraux** . . . . . 225

Jean-François LAMBERT, Louis TER-OVANESSIAN

et Marie-Christine MAUREL

9.1. Métabolisme, protométabolisme et minéraux . . . . .	225
9.2. Adsorption sur surfaces minérales . . . . .	228
9.2.1. Mécanismes d'adsorption . . . . .	228

9.2.2. Sélectivités d'adsorption . . . . .	230
9.3. Surfaces minérales et thermodynamique des réactions . . . . .	231
9.3.1. Minéraux comme réactifs . . . . .	231
9.3.2. Concentration des réactifs de la solution . . . . .	232
9.3.3. Altération des enthalpies libres de réaction . . . . .	233
9.3.4. Plateformes pour capturer l'énergie libre de sources macroscopiques (gradients spatiaux et fluctuations temporelles) . . . . .	235
9.4. Minéraux et cinétique de réaction : catalyse hétérogène . . . . .	236
9.4.1. Leçons de la catalyse hétérogène industrielle . . . . .	236
9.4.2. Des fonctions pour les catalyseurs hétérogènes ? . . . . .	237
9.4.3. Sélectivité de réaction . . . . .	239
9.5. Étude de cas : synthèse primordiale de pyrimidines . . . . .	240
9.6. Conclusion . . . . .	242
9.7. Bibliographie . . . . .	243

## **Chapitre 10. Une logique de l'évolution du code génétique en relation avec la stabilité de l'ARN**

<b>et les structures protéiques . . . . .</b>	<b>251</b>
Andrew TRAVERS	
10.1. Introduction . . . . .	252
10.2. Reconnaissance codon-anticodon . . . . .	252
10.3. Conclusion . . . . .	259
10.4. Remerciements . . . . .	260
10.5. Bibliographie . . . . .	260

<b>Liste des auteurs . . . . .</b>	<b>265</b>
------------------------------------	------------

<b>Index . . . . .</b>	<b>267</b>
------------------------	------------