

Table des matières

Avant-propos	1
Béatrice CLOUET-D'ORVAL, Bruno FRANZETTI et Philippe OGER	
Chapitre 1. La découverte des archées	3
Patrick FORTERRE	
1.1. Introduction	3
1.2. La dichotomie procaryote-eucaryote	4
1.3. Deux domaines pour les procaryotes : archéobactéries et eubactéries	5
1.3.1. L'ARN ribosomique comme marqueur moléculaire : un choix historique	5
1.3.2. L'ARN ribosomale atypique des « bactéries » méthanogènes . . .	9
1.3.3. Le concept d'archéobactérie	10
1.3.4. Le regroupement des « bactéries » halophiles et thermo-acidophiles avec les méthanogènes au sein des archéobactéries	11
1.4. La trilogie du vivant	13
1.4.1. Le concept d'archéobactérie confirmé par le caractère unique de leurs phospholipides membranaires	13
1.4.2. Les biochimistes allemands, champions du concept d'archéobactérie	14
1.4.3. Le lien évolutif entre archéobactéries et eucaryotes et l'introduction du terme archées	16
1.5. Les archées et la vie à haute température	17

1.5.1. La découverte des archées hyperthermophiles anaérobies	17
1.5.2. La course au record de thermophilie	21
1.5.3. La découverte des virus des archées hyperthermophiles	23
1.6. Les archées non extrémophiles découvertes par l'écologie moléculaire : une nouvelle vision du troisième domaine.	25
1.7. Conclusion	26
1.8. Bibliographie.	27

Chapitre 2. Évolution des archées et de leur taxonomie 33

Patrick FORTERRE

2.1. Introduction.	33
2.2. Un domaine, trois grandes branches et quelques « phylums » isolés . .	34
2.2.1. Un domaine, deux phylums	34
2.2.2. Un premier phylum orphelin, les <i>Korarchaeota</i>	35
2.2.3. Les premières phylogénies basées sur des protéines conservées	36
2.2.4. Le cas particulier de <i>Methanopyrus kandleri</i>	39
2.2.5. Le cas particulier de <i>Nanoarchaeum equitans</i>	40
2.2.6. Les Thaumarchées	41
2.3. Des phylums aux superphylums.	43
2.3.1. La métagénomique et l'explosion du nombre de phylums d'archée	43
2.3.2. Le TACK superphylum	45
2.3.3. Les DPANN	49
2.3.4. Les Asgardarchées	54
2.3.5. Les Stygia/ <i>Hadarchaeota</i>	59
2.3.6. Les <i>Hydrothermarchaeota</i>	59
2.4. Les Euryarchées	60
2.4.1. Les Euryarchées de groupe I	61
2.4.2. Les Euryarchées de groupe II.	63
2.5. Une nouvelle nomenclature pour la taxonomie des archées ?	68
2.6. Reconstruire le dernier ancêtre commun des archées : LACA	71
2.6.1. Enraciner l'arbre des archées ?	71
2.6.2. Deux visions opposées de LACA : simple ou complexe	75
2.6.3. Le caractère probablement hyperthermophile de LACA	76
2.6.4. La possibilité d'un LACA méthanogène	78
2.7. Conclusion	80
2.8. Bibliographie.	81

Chapitre 3. Les archées et l'arbre de la vie	95
Patrick FORTERRE	
3.1. Introduction.	95
3.2. Le concept de progénote	96
3.3. Les archées : des procaryotes apparentés aux eucaryotes	97
3.4. Enraciner l'arbre universel	98
3.5. La nature de LUCA	103
3.5.1. Un LUCA plus simple que les organismes des trois domaines actuels.	103
3.5.2. Un génome à ARN pour LUCA ?	104
3.5.3. Un LUCA sans doute mésophile	107
3.5.4. Le protéome de LUCA.	111
3.6. La topologie de l'arbre universel en débat.	116
3.6.1. La remise en cause précoce de l'arbre de Woese : l'hypothèse éocyte	116
3.6.2. À la recherche de l'ancêtre archéen des eucaryotes	118
3.6.3. La découverte des Asgards : validation de l'hypothèse 2D ?	119
3.6.4. Les controverses sur la position des Asgardarchées.	120
3.7. L'origine des nouvelles protéines de type eucaryote découvertes chez les Asgardarchées.	132
3.8. Les Asgardarchées et l'origine des eucaryotes	137
3.8.1. Les Asgardarchées à l'origine des eucaryotes, un nouveau paradigme	137
3.8.2. Le modèle <i>inside-out</i> basé sur les nanotubes découverts chez les Asgardarchées	138
3.8.3. Le modèle 2D à deux bactéries	139
3.8.4. L'origine de la complexité des cellules eucaryotes	139
3.9. Les problèmes biologiques posés par le modèle 2D	140
3.10. Les virus et l'arbre universel du vivant.	143
3.11. Conclusion	148
3.12. Bibliographie	148
 Chapitre 4. Archées : habitats et physiologies associées	 161
Karine ALAIN, Marc COZANNET, Maxime ALLIOUX, Sarah THIROUX et Jordan HARTUNIANS	
4.1. Introduction.	161
4.2. Les archées des habitats extrêmes : les extrémophiles.	163

4.2.1. Les psychrophiles	165
4.2.2. Les thermophiles/hyperthermophiles	168
4.2.3. Les acidophiles	171
4.2.4. Les alcalophiles	173
4.2.5. Les halophiles	175
4.2.6. Les piézophiles	176
4.2.7. Les archées radiotolérantes	177
4.2.8. Les archées poly-extrémophiles	178
4.2.9. Les archées de tous les records	179
4.3. Les archées peuplant les environnements « ordinaires », les archées non extrémophiles	180
4.3.1. Les phytobiomes, les rizières et les tourbières	182
4.3.2. Les habitats aquatiques : les lacs, les océans et les estuaires.	186
4.3.3. Les environnements liés aux activités humaines : exemple du traitement des déchets et des digesteurs anaérobies (méthaniseurs).	192
4.3.4. Les microbiomes des animaux	193
4.4. Les archées résistant aux efforts de mise en culture	197
4.5. Les défis à relever et exemple de réussite	200
4.6. Conclusion	202
4.7. Bibliographie.	202

Chapitre 5. Les archées méthanogènes 217

Tristan WAGNER, Laurent TOFFIN et Guillaume BORREL

5.1. Diversité des méthanogènes et diversité de leurs environnements.	217
5.1.1. Sources et puits de méthane	217
5.1.2. Diversité taxonomique et métabolique	219
5.1.3. Diversité écologique des méthanogènes.	223
5.2. Interactions des méthanogènes avec leur environnement	229
5.2.1. Compétition vis-à-vis des substrats	229
5.2.2. Interactions écologiques et syntrophiques	229
5.2.3. Association homme-méthanogène	231
5.3. Bioénergétique et biochimie de la méthanogenèse.	231
5.3.1. Des extrémophiles de l'énergie	231
5.3.2. Les cofacteurs utilisés dans la méthanogenèse.	232
5.3.3. Les différents types de méthanogenèse	235
5.3.4. MCR, unique enzyme capable de générer le méthane biogénique	243

5.4. Les méthanotrophes anaérobies et l'oxydation d'alcane à plusieurs carbones en anaérobiose	244
5.5. Évolution de la méthanogenèse	246
5.5.1. Un métabolisme ancestral	246
5.5.2. Adaptations métaboliques	246
5.6. L'impact des méthanogènes dans notre société moderne	247
5.7. Bibliographie	249
Chapitre 6. Virus archéens hyperthermophiles	261
Diana BAQUERO, Mart KRUPOVIC, Claire GESLIN et David PRANGISHVILI	
6.1. Introduction	261
6.2. Diversité morphologique et structurelle	263
6.2.1. Virus avec des morphologies uniques : familles <i>Ampullaviridae</i> , <i>Spiraviridae</i> et <i>Guttaviridae</i>	263
6.2.2. Virus filamenteux : familles <i>Rudiviridae</i> , <i>Ungulaviridae</i> , <i>Lipothrixviridae</i> , <i>Tristromaviridae</i> et <i>Clavaviridae</i>	264
6.2.3. Virus sphériques et icosaédriques : familles <i>Globuloviridae</i> , <i>Ovaliviridae</i> , <i>Portogloboviridae</i> et <i>Turriviridae</i>	265
6.2.4. Virus fusiformes : familles <i>Fuselloviridae</i> et <i>Bicaudaviridae</i>	267
6.3. Caractéristiques génomiques des virus archéens hyperthermophiles	268
6.3.1. Contenu génomique	268
6.3.2. Génomique structurelle	271
6.4. Interactions virus-hôte	272
6.4.1. Entrée du virion	273
6.4.2. Sortie du virion	274
6.5. Conclusion	276
6.6. Bibliographie	276
Liste des auteurs	285
Index	287
Sommaire de <i>Les archées, micro-organismes</i> <i>du troisième domaine du vivant 2</i>	291