

Table des matières

Préface de Bruno David, président du MNHN (page 5)

INTRODUCTION (page 7)

La microbiodiversité : une biodiversité à part ?

Laurent Palka

Vers une biologie de la conservation de la microbiodiversité

Le vivant microscopique en question

À la recherche du réel microbien

Présentation de l'ouvrage

Première partie

LA MICROBIODIVERSITÉ AU CŒUR DE L'ÉVOLUTION : UNE NOUVELLE VISION DU VIVANT

CHAPITRE 1 (page 23)

La place des virus dans le monde vivant : le concept de *virocell*

Patrick Forterre et Morgan Gaïa

- 1] La vision traditionnelle des virus
- 2] La découverte des virus géants
- 3] Qu'est-ce qu'un virus ? La notion de cellule virale
- 4] Les virus : des organismes qui se reproduisent grâce à la production de virions
- 5] L'origine des virus
- 6] La place des virus dans l'arbre universel du vivant
- 7] Les grandes lignées virales
- 8] L'origine des virus « géants »

- 9] L'origine des virus eucaryotes et la topologie de l'arbre universel
- 10] Le rôle majeur des virus dans l'évolution cellulaire
- 11] Conclusion

CHAPITRE 2 (page 51)

Les associations dans l'évolution du vivant

Bruno de Reviers

- 1] Certains êtres vivants ont des cellules compartimentées
- 2] La théorie de l'endosymbiose
 - 2.1] Les pionniers
 - 2.2] L'avancée des connaissances au secours de la théorie
 - 2.3] L'apport des séquences génétiques
 - 2.4] L'endosymbiose s'accompagne d'un transfert des gènes du symbiote vers le noyau de l'hôte
 - 2.5] L'origine unique des mitochondries et l'hypothèse des archézoaires
 - 2.6] Le nombre d'événements d'endosymbiose à l'origine des plastes des archéplastidiées
- 3] L'extension de la théorie de l'endosymbiose
 - 3.1] Le concept des endosymbioses primaire et secondaire
 - 3.2] Les plastes dérivés d'algues vertes : l'hypothèse des cabozoaires
 - 3.3] Les plastes dérivés d'algues rouges : l'hypothèse des chromalvéolés
 - 3.4] l'hypothèse des endosymbioses successives : des emboîtements d'eucaryotes
 - 3.5] Les multiples origines des plastes des dinophytes et les endosymbioses en série
 - 3.6] Les plastes des apicomplexes et des chroméridés (alvéolés) : l'hypothèse rhodoplex
 - 3.7] Les transferts latéraux de gènes liés à ces scénarios brouillent leur reconstitution
- 4] La cellule eucaryote ou l'association initiale

- 5] Les poupées russes ou l'évolution par association
- 6] Conclusion

CHAPITRE 3 (page 105)

De l'animal au végétal, les micro-organismes aux commandes : l'interaction supplantera-t-elle la notion d'organisme ?

Marc-André Selosse

- 1] Les microbes colonisant les organismes peuvent en façonner l'écologie
- 2] Les origines des infections microbiennes
- 3] Des avantages respectifs de la transmission verticale et horizontale
- 4] Des rôles variés du microbiote dans l'organisme hôte
- 5] L'évolution de l'interdépendance
- 6] Des limites de l'holobionte : vers les réseaux d'interactions

CHAPITRE 4 (page 123)

Les bactéries endosymbiotiques chez les insectes

Nathalie Becker

Préambule

- 1] Endosymbiose primaire : *Buchnera aphidicola*
- 2] Endosymbiose secondaire du genre *Wolbachia*
- 3] Rôle au cours de l'évolution des insectes

CHAPITRE 5 (page 135)

Les microbiotes humains

**Claire Cherbuy, Unai Escribano-Vazquez,
Philippe Langella et Muriel Thomas**

- 1] Cartographie des microbiotes
- 2] Les microbiotes extra-intestinaux
 - 2.1] Le microbiote cutané
 - 2.2] Le microbiote pulmonaire

- 2.3] Le microbiote vaginal
- 3] Le microbiote intestinal
 - 3.1] Composition et fonction
 - 3.2] Impact du microbiote intestinal sur le corps humain
 - 3.3] L'évolution du microbiote intestinal de la naissance à la vieillesse
- 4] Quelle place pour les microbiotes dans les situations pathologiques?
 - 4.1] Dysbioses du microbiote intestinal
 - 4.2] La période postnatale : une fenêtre clé d'exposition aux micro-organismes?
- 5] Les leçons à tirer de l'analyse du microbiote intestinal dans la population humaine au niveau mondial et dans les populations de primates non humains
 - 5.1] Le microbiote intestinal peut-il être victime d'une modernisation sociétale?
 - 5.2] Un assemblage des communautés microbiennes forgé au cours de l'évolution
- 6] Effet des probiotiques, des prébiotiques et du transfert fécal sur le microbiote intestinal
- 7] Conclusion

Deuxième partie

LA MICROBIODIVERSITÉ AU SEIN DE L'ÉCOSYSTÈME : UNE APPROCHE DU RÉEL MICROBIEN

CHAPITRE 6 (page 161)

Les microbiomes de l'océan : une démarche à haut débit pour une compréhension globale et systémique

**Lucie Bittner, Lionel Guidi,
Samuel Chaffron et Damien Eveillard**

- 1] Comment le séquençage haut débit a révolutionné notre vision de la microbiodiversité dans l'océan
- 2] L'expédition *Tara Océans* (2009-2013) : un échantillonnage et une logistique titanesques

- 3] Vers une océanographie biologique à haut débit
- 4] Les premiers résultats de *Tara Océans* (2015-2017)
 - 4.1] Des catalogues de référence pour les organismes et les fonctions de l'océan
 - 4.2] Des patterns de biodiversité à l'étude des processus du système océan
- 5] Les futures escales de l'océanographie moléculaire
 - 5.1] De nouvelles données, de nouvelles études et les nouveaux défis à venir
 - 5.2] Du métagénome à la modélisation du système océan

CHAPITRE 7 (page 187)

Microbiodiversité en milieux hypersalins

Alyssa Carré-Mlouka

- 1] Les habitats hypersalins sur Terre
 - 1.1] Les environnements thalassohalins
 - 1.2] Les environnements athalassohalins
- 2] Les grands groupes de micro-organismes
 - 2.1] Les archées
 - 2.2] Les bactéries
 - 2.3] Les eucaryotes
 - 2.4] Les virus
 - 2.5] Répartition en fonction de la salinité
- 3] Adaptations à la salinité
 - 3.1] Stratégie d'accumulation de solutés organiques ou stratégie «*salt-out*»
 - 3.2] Stratégie d'accumulation de solutés inorganiques ou stratégie «*salt-in*»
- 4] Potentiel biotechnologique des micro-organismes halophiles
 - 4.1] Les pigments
 - 4.2] Les solutés compatibles
 - 4.3] Autres composés

- 4.4] Propriétés métaboliques et applications alimentaires
- 4.5] Propriétés métaboliques et applications environnementales
- 5] Conclusions

CHAPITRE 8 (page 213)

La biogéographie des communautés microbiennes du sol à l'échelle de la France

Lionel Ranjard

- 1] L'initiative Réseau de mesure de la qualité des sols (RMQS)
- 2] Les outils modernes de caractérisation des communautés microbiennes
- 3] Distribution spatiale et déterminisme de la biomasse moléculaire microbienne
- 4] Distribution spatiale et déterminisme de la diversité taxonomique bactérienne
- 5] La relation aire-espèce appliquée aux communautés bactériennes
- 6] Distribution spatiale des phylums bactériens à l'échelle de la France
- 7] La biogéographie au service du diagnostic environnemental
- 8] Conclusion

CHAPITRE 9 (page 239)

La diversité des protistes dans le sol

Enrique Lara et Sina Adl

- 1] Protistes du sol et nutrition
 - 1.1] Les phagotrophes
 - 1.2] Les phototrophes
 - 1.3] Les absorbeurs (osmotrophes)
 - 1.4] Les parasites (et les parasitoïdes)
- 2] Patrons de diversité globale et locale
 - 2.1] Diversité alpha
 - 2.2] Diversité bêta
- 3] Conclusion

Troisième partie

LA MICROBIODIVERSITÉ DANS LA SOCIÉTÉ : AU SERVICE DE L'HUMAIN

CHAPITRE 10 (page 255)

Les cyanobactéries, de l'oxygénation terrestre aux substances naturelles**Muriel Gugger**

- 1] Les cyanobactéries, des microbes bien visibles
- 2] Les cyanobactéries : le phylum de bactéries à photosynthèse oxygénique
 - 2.1] La répartition et l'impact des cyanobactéries sur la Terre
 - 2.2] La morphologie au service de leur classification
 - 2.3] La révolution génomique chez les cyanobactéries
- 3] Des cyanobactéries encore plus utiles pour l'humain
 - 3.1] Un peu de métabolisme accessoire
 - 3.2] Les producteurs d'énergie verte ou d'aliments
 - 3.3] Les architectes de nouvelles molécules
 - 3.4] La synthèse non ribosomale en question
- 4] En conclusion

CHAPITRE 11 (page 275)

Microbiodiversité et substances naturelles : quand les microbes se font chimistes**Bernard Bodo**

- 1] Les microbes et la chimie de base
 - 1.1] La synthèse du dioxygène : formation de l'atmosphère actuelle par la photosynthèse
 - 1.2] Assimiler l'azote de l'atmosphère
 - 1.3] La gestion du méthane : production et consommation
 - 1.4] La chimie du soufre dans tous ses états
- 2] Les microbes à la cuisine : préparation et conservation de notre alimentation
 - 2.1] La fermentation alcoolique

- 2.2] La fermentation acétique
- 2.3] La fermentation lactique
- 3] Les microbes aux champs
 - 3.1] Utilisation de l'activité antagoniste des *Trichoderma* dans la lutte biologique
 - 3.2] Dialogue moléculaire entre les plantes légumineuses et les bactéries fixatrices d'azote
 - 3.3] Micro-organismes endophytes
- 4] Des molécules qui ont changé la médecine : la chimie fine des microbes
 - 4.1] Découverte de la pénicilline
 - 4.2] Découverte des autres antibiotiques
 - 4.3] Les immunosuppresseurs
 - 4.4] Des molécules contre le cancer
- 5] Les microbes producteurs de toxines : composés déplaisants produits par les micro-organismes
 - 5.1] L'aflatoxine B1
 - 5.2] La patuline
 - 5.3] Les microcystines des cyanobactéries
 - 5.4] La saxitoxine
 - 5.5] Toxines de type polyéther produites par des dinoflagellés
- 6] Les microbes et les nouvelles biotechnologies
 - 6.1] Biotransformations
 - 6.2] La réaction de polymérisation en chaîne et les bactéries thermophiles
- 7] Conclusion

CHAPITRE 12 (page 307)

Les matériaux bio-inspirés. Quand la microbiodiversité inspire la science

Jacques Livage

- 1] La silice des diatomées
- 2] Des frustules nanostructurés

- 3] Les procédés sol-gel
- 4] Les matériaux hybrides
- 5] Des matériaux vivants
- 6] Coccolithes et mésocristaux
- 7] Conclusion

CHAPITRE 13 (page 321)

Le potentiel des micro-algues pour la chimie verte et les bioénergies

Josselin Lupette et Éric Maréchal

- 1] Les acides gras, les glycérolipides membranaires et le triacylglycérol
- 2] La diversité moléculaire des acides gras
- 3] La diversité moléculaire des glycérolipides membranaires et du triacylglycérol
- 4] Principes généraux de la biosynthèse des glycérolipides chez les micro-algues
 - 4.1] Chez les micro-algues «endosymbiontes primaires» (Glaucophyta, algues rouges et algues vertes)
 - 4.2] Chez les micro-algues endosymbiontes secondaires (y compris les diatomées et les eustigmatophytes)
- 5] Les acides gras à base de micro-algues : défis technologiques et applications prometteuses
- 6] Conclusions

CHAPITRE 14 (page 339)

Les biopiles microbiennes

Thomas Flinois et Frédéric Barrière

- 1] Les piles à combustible microbiennes
- 2] Connexion électrique du métabolisme bactérien à une anode
 - 2.1] Importance des cytochromes de type *c*
 - 2.2] Rôle des *pili*
 - 2.3] Implications de médiateurs redox
- 3] Transferts d'électrons vers l'anode chez *G. sulfurreducens*

- 3.1] Transferts des électrons du cytoplasme à la membrane externe
- 3.2] Transferts des électrons de la membrane externe à l'accepteur insoluble
- 4] Transferts d'électrons de la cathode vers les bactéries
 - 4.1] Première hypothèse : l'implication des enzymes sécrétées par le biofilm
 - 4.2] Deuxième hypothèse : la catalyse indirecte médiée par le peroxyde d'hydrogène
 - 4.3] Troisième hypothèse : le transfert d'électrons directement de la cathode aux micro-organismes
 - 4.4] Quatrième hypothèse : les chimiolithotrophes : connexion entre la cathode et un biofilm
- 5] Conclusion

GLOSSAIRE (page 359)

Préface de Bruno David

Président du Muséum national d'histoire naturelle

La biodiversité, une belle méconnue dont cet ouvrage nous dévoile de multiples facettes. *Belle*, car la nature est belle à toutes les échelles, belle par son esthétique – il suffit d'évoquer les merveilleuses formes du microplancton – mais également beauté des processus qui l'animent – adaptations fascinantes à des environnements qui nous paraissent si hostiles, symbioses harmonieuses... *Méconnue*, car hors de portée de nos sens ordinaires, en particulier de la vue, la biodiversité demeure à jamais cachée en dépit de son foisonnement.

Et pourtant, quels rôles de premier plan a-t-elle joués dans l'histoire de la biosphère et continue de jouer. Par exemple, l'oxygène que nous respirons est issu en grande partie de la biodiversité. Les bactéries et les archées ont façonné les cellules des eucaryotes et leur évolution. Elles sont à l'origine de la vie sur Terre. La nôtre en premier chef: que serions-nous sans notre microbiote? De même, que seraient les plantes et les animaux sans les micro-organismes associés? Les micro-organismes sont partout, discrets, presque invisibles et néanmoins essentiels depuis toujours.

La recherche et les connaissances en microbiologie avancent à pas de géants, grâce à l'apport de moyens techniques inégalés et pleins de promesses, métagénomique en tête, mais aussi cytométrie en flux, microscopie, spectrométrie, etc. Que savait-on du métagénome des sols comme de celui de l'océan il y a peu? Que savait-on de l'adaptation chez les formes extrémophiles des geysers, des milieux hypersalins, ou des profondeurs de la lithosphère? Que sait-on des virus géants, de leur rôle dans les écosystèmes et de leur place dans le buisson de la vie? Enfin, la biodiversité, en plus d'être à l'origine de nombreux services écosystémiques, est une source exceptionnelle d'inspiration pour la chimie, les nouveaux matériaux, les nouvelles thérapeutiques,

ou encore l'énergie verte. Elle touche au développement et au futur de nos sociétés.

Il convient ici de souligner l'apport original et significatif de cet ouvrage collectif qui ouvre une fenêtre sur un véritable renouveau des connaissances en microbiologie et sur les réponses que cette discipline apporte aujourd'hui dans de nombreux domaines : connaissance des écosystèmes, évolution biologique, Homme et société. Il convient aussi de souligner l'excellente idée de prolonger un enseignement d'école doctorale par un ouvrage où 24 auteurs apportent leur contribution à travers 14 chapitres qui nous éclairent sur quelques-unes des multiples facettes de la microbiodiversité. Cet ouvrage, qui vient valoriser les enseignements dispensés au Muséum, est un superbe exemple où l'enseignement nourrit la littérature scientifique.