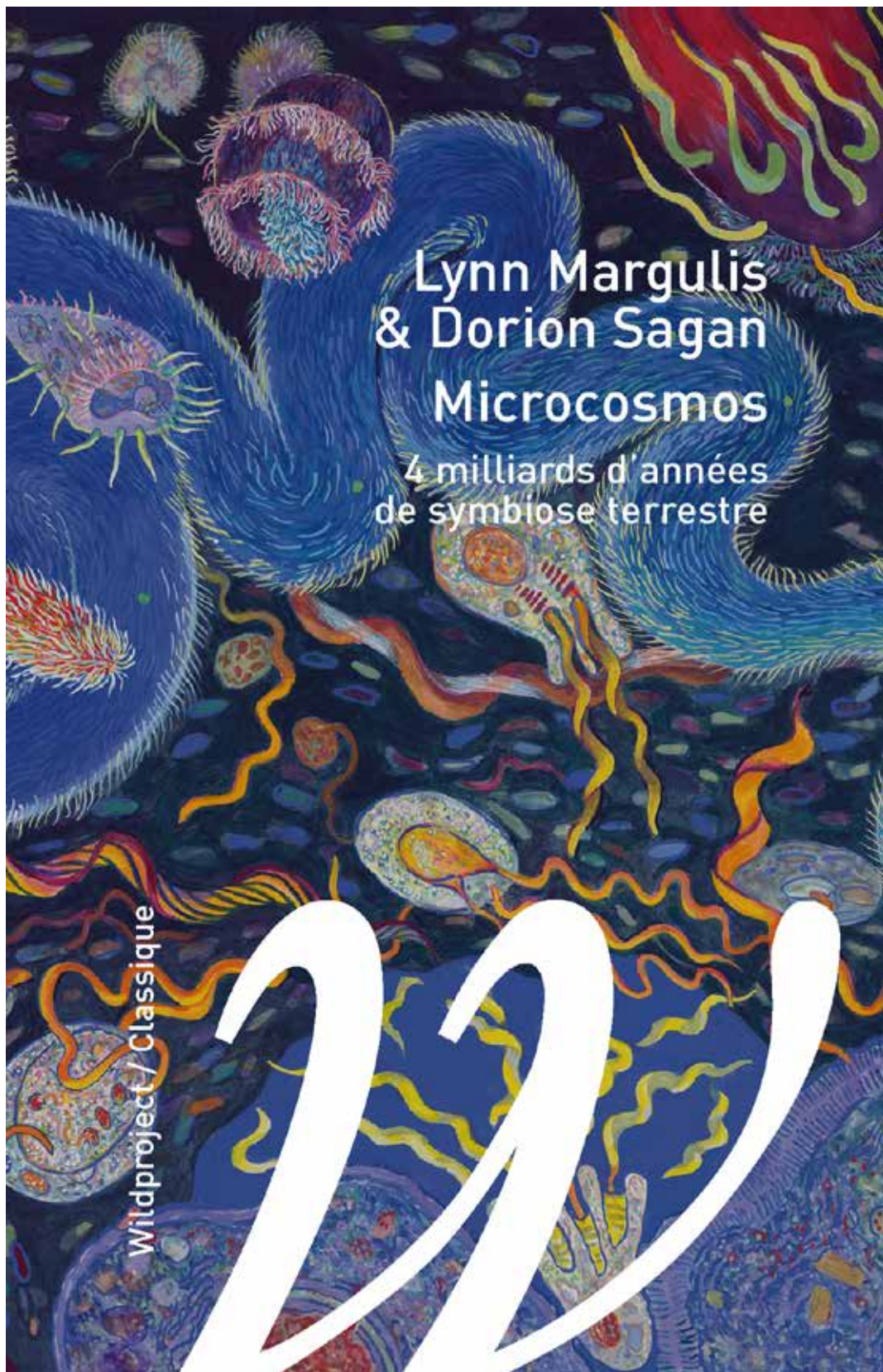


À paraître le 13 mai 2022



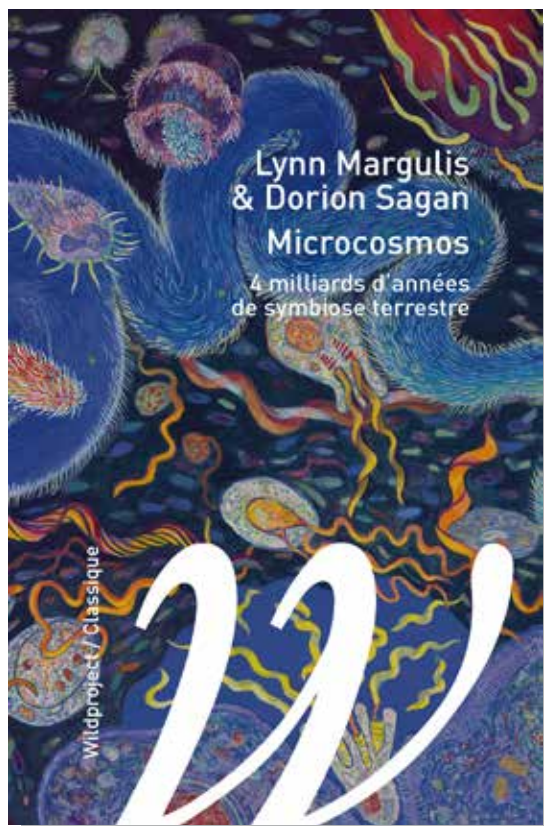
**Une révolution
dans la conception de la vie sur Terre**

PARUTION 13 MAI 2022

LYNN MARGULIS & DORION SAGAN

MICROCOSMOS

4 MILLIARDS D'ANNÉES
DE SYMBIOSE TERRESTRE



16 euros

424 pages - 11 x 17 cm

Traduction de Gérard Blanc et Anne de Beer
(1989) révisée en 2022 par Clément Amézieux

Titre original « Microcosmos »

Première édition en anglais : 1987

Cet ouvrage a fait l'objet d'une précédente édition chez
Albain Michel en 1989 et d'une édition chez Points Seuil
en 2002

Note : Le film *Microcosmos : le peuple de l'herbe* est
postérieur (1997).

Collection : Poche

Rayon : Ecologie

ISBN : 978-2-381140-407



Le livre fondateur d'une autre conception de l'évolution, par la mère de l'hypothèse Gaïa

Quand on regarde la planète Terre de loin et dans l'ensemble de son histoire, c'est une planète de bactéries, de virus et de micro-organismes, qui n'ont cessé d'évoluer en symbiose. C'est là l'essentiel de son histoire ; c'est là sa structure profonde.

Nous-mêmes sommes au fond – comme tous les animaux et végétaux – des assemblages ultra-complexes de bactéries ; ces êtres microscopiques forment la basse continue de la vie sur Terre.

Opérant une synthèse inédite qui articule l'échelle microscopique, l'échelle des individus vivants et l'échelle planétaire autour d'une conception de l'évolution renouvelée par l'idée de symbiose (l'association intime, durable entre deux organismes différents), Margulis offre ici un nouveau tableau de la vie.

Voici le récit complet, abordable, didactique, de la plus grande aventure connue : l'apparition et le développement de la vie sur Terre. Qui marque aussi la lutte victorieuse d'une femme pour que le vivant soit pensé par ses relations de coopération, après de longues années de mise au ban de la communauté scientifique.

L'ouvrage fondateur d'une des plus grandes biologistes du 20^e siècle.

Le nom de Lynn Margulis est synonyme de la symbiose comme celui de Darwin l'est de l'évolution.

Jan Sapp

Experte des créatures proliférantes – y compris les êtres humains –, Margulis est une penseuse radicale de l'évolution.

Donna Haraway

Margulis conteste l'existence d'individus séparables : une cellule, une bactérie ou un humain – pour la raison qu'ils sont « tous entrelacés ».

Bruno Latour

LYNN MARGULIS (1938-2011) est une biologiste américaine iconoclaste qui a révolutionné les sciences du vivant.

DORION SAGAN (né en 1959) est l'auteur de plus d'une vingtaine de livres sur l'évolution et la philosophie des sciences.

Table

1. Prélude cosmique
 2. La matière s'anime
 3. Le langage de la nature
 4. Le microcosme fait son entrée
 5. Sexualité et commerce génétique planétaire
 6. Holocauste à l'oxygène
 7. Nouvelles cellules
 8. Vivre ensemble
 9. Le cerveau symbiotique
 10. L'énigme de la sexualité
 11. Éclosions finales : animaux et plantes
 12. L'humain égocentrique
 13. Le supercosme à venir
- Postface de Dorion Sagan*
- Glossaire*

L'héritage de Lynn Margulis

« Margulis est l'une des grandes penseuses de la biologie moderne. »

E. O. Wilson

« La mère indisciplinée de la science de la Terre. »

Charles C. Mann, journaliste, auteur de 1491

« Le nom de Lynn Margulis est synonyme de la symbiose comme celui de Charles Darwin l'est de l'évolution. Elle a promu et défendu la symbiose comme source d'innovation évolutionnaire, et avancé l'idée que nous pouvions étudier les cellules dans un contexte évolutif et purement écologique. »

Jan Sapp, biologiste, York University, Canada

« Dès les années 1960, Lynn Margulis découvre que, contrairement à ce que nous a appris Darwin, la nature n'est pas animée par un bellicisme fondamental. »

Emanuele Coccia, *Le Figaro*, 2020

« Lynn Margulis est l'une des plus importantes architectes de la biologie moderne. Elle a bâti un pont entre les données de l'anatomie cellulaire et de la génétique moléculaire. »

Freeman Dyson, *Origins of Life*, 1999

« Une prose au style lumineux... Clair, évocateur et dense de réalités plutôt que de concepts ou d'opinions, *Microcosmos* saisit le lecteur sérieux d'une manière qui transcende à la fois la science et le journalisme scientifique. »

***New York Times*, 1986**

« *Microcosmos* est un livre à lire par tous. Bien que les idées exprimées avec tant de clarté et d'enthousiasme dans cet ouvrage passionnant soient solidement fondées sur les recherches scientifiques actuelles, elles sont formulées dans un langage que toute personne ayant quelques notions de biologie peut facilement comprendre... *Microcosmos* est un livre bourré d'informations et de détails fascinants, mais tout cela dans le but de démontrer comment les formes de vie sont imbriquées les unes dans les autres. »

The Ecologist

« Là où l'orthodoxie post-darwinienne se glorifiait de ne plus reconnaître qu'une seule et monotone explication au fonctionnement des vivants (la maximisation de l'avantage reproductif), le travail d'une chercheuse passionnée, obstinée, combative a réussi à initier un changement radical de la donne. Elle nous raconte ici l'histoire qui a permis à la Vie de transformer notre planète en une Terre fertile, accueillant une prodigieuse multiplicité de manières de vivre les unes grâce aux autres. Grâce à Lynn Margulis, la biologie d'aujourd'hui réapprend à honorer cette fertilité, don des entrelacs de la Vie, comme l'ont fait depuis toujours les peuples qui se savaient dépendants de quelque chose de plus grand qu'eux. »

Isabelle Stengers

« Experte en microbiologie, biologie cellulaire, chimie, géologie et paléogéographie, amoureuse des langues, des arts, des histoires, des théories des systèmes, et des créatures extraordinairement proliférantes – y compris les êtres humains –, Margulis était une penseuse radicale de l'évolution. »

Donna Haraway, *Vivre avec le trouble*, 2020 [2016]

« L'évolution, dans l'esprit des néo-darwiniens, suppose l'existence d'organismes suffisamment séparables les uns des autres pour qu'on leur attribue un degré de réussite inférieur ou supérieur aux autres. Or Margulis conteste l'existence même d'individus séparables : une cellule, une bactérie ou un humain. Pour la simple et excellente raison qu'ils sont "tous entrelacés". [...] Plus le temps passe, plus les découvertes de Margulis prennent de l'importance, au point qu'elle s'approche aujourd'hui de l'orthodoxie grâce à l'extension foudroyante du concept de holobionte, terme qui résume à lui seul la superposition des vivants pliés les uns dans les autres. »

Bruno Latour, « Bruno Latour sur la piste de Gaïa », *L'Obs*, 2018

« Sans vouloir tomber dans l'hagiographie, il est aujourd'hui relativement clair que Lynn Margulis aurait pu remporter deux prix Nobel : l'un pour ses apports à notre compréhension de l'origine des cellules eucaryotes, et l'autre à partager avec James E. Lovelock pour son élaboration de l'hypothèse Gaïa. »

Dorion Sagan



Cahier photo

Cyanobactéries («algues bleues»). «Le tapis bleu envahissait toutes les parties minérales et boueuses de la Terre primitive.» (p. 141)

Lynn Petra Alexander et son microscope



Lynn Petra Alexander épouse Carl Sagan en 1957. Collection particulière.

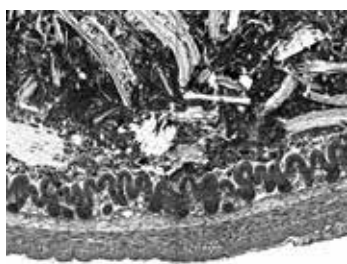
Représentations de mitochondries, «ces minuscules inclusions enveloppées dans une membrane qui se retrouvent pareillement dans les cellules des animaux, des plantes, des champignons et des protistes» (p. 42). En 1966, Lynn Sagan énonce la théorie dite «endosymbiotique» de l'origine bactérienne des mitochondries.



Dorion Sagan enfant ; Dorion Sagan et Lynn Margulis. Collection particulière.



Lynn Margulis devant une statue de Gaïa en compagnie de James Lovelock, avec qui elle élabore une nouvelle conception de la Terre dite «hypothèse Gaïa».



Microbiote intestinal. «Ni les vaches ni les termites ne sont capables de digérer la cellulose de l'herbe et du bois sans les communautés de microbes qui habitent dans leurs intestins. 10 % de notre masse corporelle sèche est composée de bactéries, dont certaines, qui ne sont pourtant pas congénitales, sont indispensables à notre survie. Une telle coexistence n'est pas une bizarrerie de la nature : c'est l'étoffe même de l'évolution.» (p. 45-46)

La «main de Gaïa» représentant le nœud de la vie sur Terre à travers le temps. Illustration de Dorion Sagan pour le livre de Lynn Margulis et Karlene V. Schwartz Five Kingdoms.



Lynn Margulis reçoit en 1999 la Medal of National Science Award des mains du président américain Bill Clinton.



Prolifération de cyanobactéries au sein du lac de Puyvalador (66) sur le plateau du Capcir. © Illustration/Actu.fr

1. Prélude cosmique

-4 milliard d'années
Le microcosme est des débris de l'explosion d'une supernova.



4. Au cœur du microcosme

-1,1 milliard d'années
Protobiontologie
Les premiers biomolécules et l'atmosphère sur la terre jeune sont formés d'hydrogène, d'oxygène.



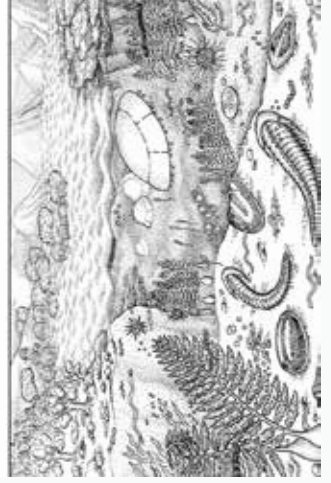
5. Sexe et commerce génétique planétaire

-800 milliard d'années
Protobiontologie
Les communautés microbiontiques évoluent en plans et commencent à commercer.



6. Holocauste à l'oxygène

-2,7 milliard d'années
Fin de Protobiontologie
Les premiers marins et l'oxygène commencent à former des organismes.



10. L'énigme du sexe

-450 milliard d'années
Fin de Mésozoïque
Le microcosme évolue avec le début de la géologie moderne, les premiers animaux et végétaux complexes, et les premiers microcosmes.



11. Éclotions finales : animaux et plantes

-450 milliard d'années
Début de Cénozoïque
Les animaux et végétaux complexes commencent à évoluer, les premiers animaux et végétaux complexes, et les premiers microcosmes.



Prix et récompenses de la « savante rebelle »

1967 Après avoir été rejeté dans 15 revues scientifiques, parution de l'article fondateur de Lynn Margulis (alors âgée de 29 ans) sur la théorie endosymbiotique qui révolutionne la compréhension des cellules (« On the Origin of Mitosing Cells »)

1974 Parution du premier article cosigné par Lynn Margulis et James Lovelock sur l'hypothèse Gaïa, alors hautement controversée et mise au ban du monde des sciences (« Atmospheric homeostasis by and for the biosphere: the Gaia hypothesis »)

-

1983 Élu(e) à la National Academy of Sciences

1986 Prix Miescher-Ishida .

1989 Commandeur de l'Ordre des Palmes Académiques de France

1989 Archive de ses articles à la bibliothèque du Congrès, Washington, DC.

1992 Chancellor's Medal for Distinguished Faculty of the University of Massachusetts at Amherst.

1995 Membre de la World Academy of Art and Science

1997 Élu(e) à l'Académie russe des sciences naturelles

1998 Distinguished Service Award of the American Institute of Biological Sciences.

1998 Membre de l'American Academy of Arts and Sciences.

1999 Lauréate du prix William Procter

1999 National Medal of Science, par le Président William J. Clinton.

2001 Golden Plate Award of the American Academy of Achievement

2002 Une des 50 plus importantes femmes scientifiques, par Discover

2002-05 Prix Alexander von Humboldt

2005 President of Sigma Xi, The Scientific Research Society.

Médaille Darwin-Wallace, attribuée tous les 50 ans, par la société linéenne de Londres.

2010 NASA Public Service Award for Astrobiology

2012 Symposium Lynn Margulis: "Celebrating a Life in Science", University of Massachusetts, Amherst, March 23-25, 2012

2017 Un numéro spécial du *Journal of Theoretical Biology* (n°434), commémore le 50e anniversaire de «The origin of mitosing cells»

Docteur honoraire de 15 universités

Postface de Dorion Sagan (extrait)

En tant que fils, mais surtout en tant que collaborateur intellectuel de Lynn Margulis (1938-2011) ayant été, au fil de trois décennies, son co-auteur pour plus de trente livres – dont celui-ci – et quarante articles, certains destinés au grand public et d'autres aux scientifiques, je suis dans une position privilégiée pour tenter de résumer son influence unique et durable sur la biologie évolutionnaire.

On peut affirmer sans hyperbole qu'elle incarnait elle-même les perspectives sur la vie qu'elle a contribué à découvrir. Travailleuse acharnée et chaleureuse qui adorait son travail (« parce qu'on me laisse prendre l'air »), elle a collaboré avec de nombreux scientifiques et étudiants de multiples pays jusqu'à devenir, entre autres honneurs, à la fois membre de l'Académie nationale des sciences aux États-Unis (1983) et de l'Académie russe des sciences naturelles (1997), ainsi que lauréate du prix Alexander von Humboldt (Berlin, 2002-2005) et récipiendaire de la médaille Darwin-Wallace de la Linnean Society of London (2008). Mais que vaut tout ceci, comparé à ce que le géochimiste néerlandais Peter Westbroek a nommé sa « nouvelle vision du monde » ? Un portrait de la vie sur notre planète comme force géologique, évoluant depuis 4 milliards d'années non seulement par la ramification des espèces, mais aussi par l'épopée des procaryotes, des bactéries, des archées et des protistes travaillant ensemble, s'infectant les uns les autres sans se tuer, se dévorant les uns les autres sans se digérer, combinant leurs caractères, fusionnant leurs métabolismes, inventant des nouveaux gènes, vivant, en un mot, avec toujours plus d'énergie.

Et dans ce contexte, je reste amusé par le fait d'avoir non seulement certains traits du visage de mon célèbre père, Carl Sagan, et les yeux verts de ma mère, mais aussi, dans le cytoplasme de mes cellules corporelles, les mitochondries de cette dernière. De fait, elles me donnent l'énergie d'écrire ces mots, et donc en ce sens, ce n'est pas seulement moi qui vous

écris, mais elle, ou ses mitochondries, qui chez les humains sont transmises par la mère, et qu'elle a reçues de la sienne, et ainsi de suite depuis des temps où ces mères n'étaient pas encore des êtres humains, ni même véritablement des mères. Ainsi l'énergie cellulaire, stockée en ATP, produite dans les mitochondries en dehors du noyau des cellules, indispensable à l'écriture de cette phrase, est un héritage non seulement de toutes ces mères, mais aussi de toutes les bactéries dont Margulis a fait l'objet de son travail au cours de sa vie enthousiaste et conviviale. Depuis lors, la Terre ne ressemble plus à cet arbre banal dont les humains, au sommet, seraient la forme de vie la plus évoluée, mais à quelque chose de bien plus étrange et enthousiasmant : une sorte de réseau fractal composé de multiples formes vivantes, dont les plus importantes étaient et demeurent les bactéries, lesquelles n'évoluent pas seulement de façon séparée, mais échangent des gènes et parfois, héroïquement, se rassemblent en formes de vie multi-métaboliques dont nous sommes un exemple vivant.

★

En décrivant la vie sur Terre comme une évolution de communautés microbiennes sur plusieurs milliards d'années, depuis les procaryotes préservant l'atmosphère terrestre contre l'équilibre thermodynamique jusqu'aux êtres polygénomiques que sont les eucaryotes, l'œuvre interdisciplinaire de Margulis a profondément influencé de nombreuses disciplines, notamment la systématique, la théorie de l'évolution des métabolismes, la paléobiologie et la biogéochimie. En renversant le récit darwiniste selon lequel la spéciation surviendrait presque toujours par accumulation progressive de mutations aléatoires, son travail revitalise une ancienne spéculation du philosophe pré-socratique Empédocle, qui supposait que les premiers êtres terrestres étaient le fruit

d'une fusion tout autant que d'une reproduction différenciante (ou sélection naturelle). Cette spéculation fut rejetée par Aristote, probablement car elle impliquait l'existence de chimères mythologiques qui n'avaient pas leur place dans la biologie observationnelle. Plus tard, Charles Darwin avait réemployé l'objection d'Aristote à Empédocle pour montrer qu'Aristote lui-même avait connaissance de la sélection naturelle mais n'y souscrivait pas. Darwin entendait ainsi faciliter la diffusion de sa propre théorie scientifique dans une culture victorienne dont la pensée des origines était dominée non par la mythologie grecque, mais par le créationnisme chrétien.

Bien que Margulis ne fut pas la première à formuler de telles idées, sa méthode scientifique fondée sur la curiosité, son éthique professionnelle collaborative, et sa posture philosophique critique à l'égard des tendances par trop présomptueuses d'un milieu dominé par les hommes, tout ceci s'est mêlé pour former une nouvelle synthèse scientifique que j'ai proposé d'appeler la symbiogenétique. Même si elle ne fut pas la première à l'énoncer, sa défense d'un surgissement évolutionnaire des formes de vie à partir de créatures très différentes les unes des autres – la symbiogenèse – est notamment due à son naturalisme, c'est-à-dire à sa relation immersive et empathique vis-à-vis des organismes qu'elle étudiait. Sur ce point, elle peut être comparée à Ernst Haeckel (1834-1919), qui a inventé les termes *phylogénie* et *écologie*, et baptisé de nombreux taxons, dont le taxon *Protista* dont il a fait (en l'observant au microscope) de superbes illustrations qui contribuèrent à influencer l'Art nouveau. Dans sa grande somme publiée à la fin du 19^e siècle, *Les Énigmes de l'univers*, il postulait (bien que son « arbre de la vie » représentât à son sommet une jeune femme allemande) l'existence d'une « cytopsyché » chez les individus protistes, de « cœnopsychés » dans les colonies cellulaires, d'« histopsychés » dans les tissus animaux, et de sensations chez les plantes ; autrement dit, l'existence d'esprits biologiques sous de multiples formes. L'influence de Margulis sur la biologie du 20^e siècle est tout aussi

époustouflante, et pareillement due à son amour et à sa connaissance intime de la vie microbienne. À une époque de spécialisation scientifique croissante, l'esprit de synthèse s'avère de plus en plus nécessaire. Le lépidoptériste Kurt Johnson évoquait par exemple certains de ses collègues qui, s'ils connaissaient le code génétique des papillons qu'ils étudiaient, étaient pourtant incapables de les reconnaître à l'œil nu. À l'inverse, il se trouve de grands naturalistes interdisciplinaires, de plus en plus rares en ces temps de spécialisation, ayant des relations inter-espèces et inter-règnes d'ordre quasi shamanique avec les organismes qu'ils étudient ; relations non seulement intellectuelles et objectives, mais aussi affectives. Immersion intense et travail de terrain : en ce sens, l'œuvre de Margulis s'inscrit dans le sillage des naturalistes classiques, guidée par la curiosité davantage que par l'argent ou la renommée, et dont les observations scientifiques méticuleuses sont aussi un engagement personnel auprès de ses objets – sujets – de recherche. Pensons à Charles Darwin et à son étude rapprochée des vers de terre. Pensons à Vladimir Nabokov et à ses théories sur la migration des azurés (sous-famille des papillons *Polyommata*) qui ont été confirmées après sa mort par des méthodes de biologie moléculaire. De même, les recherches de Margulis – en l'occurrence de son vivant, et tandis qu'elle travaillait à y intégrer l'écologie microbienne, la paléobiologie, la microscopie électronique et la planétologie – étaient intrinsèquement plus vastes que les analyses génétiques ayant ultérieurement confirmé ses théories.

En 1965, au moment de son doctorat en génétique, elle a soutenu l'idée de symbiogenèse qui, même si elle est étayée par la génétique, porte des implications qui dépassent largement le point de vue strictement génétique. De nombreux scientifiques avaient avancé des idées semblables, notamment l'Allemand Anton de Bary qui découvrit la symbiose des lichens, Paul Portier en France, et l'Américain Ivan Wallin qui échoua à développer des mitochondries en culture et prit sa retraite face à l'arrogante incrédule de ses pairs ; et en Russie, Andrei Famintsyn et Konstantin Mereschkowski, ce dernier ayant inventé le

terme symbiogenèse. Boris Kozo-Polianski – dont le livre fut traduit en anglais par l'un des étudiants de Wallin en 1924, et dont les archives ont apparemment été confisquées par le KGB après sa mort en 1957 – bénéficia de sa lecture du *Symbiogenesis and the Origin of Species* publié par Wallin en 1927, et entra en contact avec lui. Comme Kozo-Polianski, qui avait lu ses précurseurs russes et suggérait que les mitochondries et les chloroplastes auraient évolué à partir des bactéries, la théorie endosymbiotique de Margulis s'est appuyée sur tous ces travaux, suivant les traces de ses illustres prédécesseurs. Mais bien que plusieurs scientifiques y aient pensé avant, la persévérance de sa recherche et de son plaidoyer, la méticulosité de son érudition, et son ethos collaboratif réussirent finalement à intégrer au sein de la bienséante communauté biologique ces idées auparavant scandaleuses et rejetées en bloc. De fait, que les propositions de symbiogenèse aient été sommairement écartées, et ce même avant la reconnaissance de la biologie évolutionnaire, n'est pas sans raison. Bien que le philosophe présocratique Empédocle (494-444 av. J.C.) ait lui-même proposé quelque chose comme la symbiogenèse – par exemple des yeux qui auraient déambulé par eux-mêmes avant de s'associer aux visages –, cela ressemblait un peu trop aux rencontres interdites des mythologies grecque et romaine – des dieux imprégnant les mortels, des satyres demi-humains, des minotaures et des méduses aux chevelures de serpents – pour être pris au sérieux par les rationalistes adeptes d'Aristote, « premier biologiste » ayant observé la nature et répertorié ses formes au lieu de supposer, comme Platon, qu'elle était l'instanciation d'idées éternelles. Pourtant, observer la vie de plus près porte à considérer la mythologie comme potentiellement moins farfelue que la véritable histoire de l'évolution. Margulis préconisait un approfondissement des recherches sur les idées sous-étudiées (bien que démontrées) du zoologue Donald Williamson, spécialiste des invertébrés qui avait supposé que les étoiles de mer auraient initialement procédé d'une fertilisation inter-phylums entre les échinodermes et les oursins, et les papillons d'un croi-

sement entre les onychophores (vers de velours) et les insectes. Si mythologique puisse-t-elle paraître, la thèse du transfert larvaire proposée par Williamson et promue par Margulis pourrait rendre compte des origines évolutives de certains animaux dont les stades larvaires et adultes sont étonnamment différents ; et quand bien même, dans le cas où elles se confirmeraient, de telles fusions entre différents embranchements impliqueraient que de sérieuses frontières soient franchies, celles-ci seraient sans doute moins spectaculaires que les frontières séparant les archées des bactéries, dont la fusion constitue pourtant la base, aujourd'hui admise, des origines de la cellule eucaryote selon les théories de Margulis sur l'évolution par symbiose cellulaire.

Même si les idées de Williamson sont largement – et peut-être tout à fait injustement – déconsidérées (en particulier chez les biologistes professionnels spécialistes des invertébrés qui, s'il avait raison, devraient repenser tout leur modèle), la propension de Margulis à examiner sérieusement les nouvelles idées scientifiques, en fonction de leur valeur propre, illustre sa ténacité face à l'inaptitude du consensus académique à mener une révolution scientifique. Comme le disait Niels Bohr lors d'une conférence de 1958 à l'université de Columbia, après que Wolfgang Pauli eut présenté sa théorie quantique non-linéaire des champs et des particules élémentaires élaborée avec le physicien Werner Heisenberg : « Nous sommes tous d'accord pour dire que votre théorie est folle. La question qui nous divise est de savoir si elle est suffisamment folle pour avoir une chance d'être correcte. » Cependant, Margulis n'était pas la moins prudente dans ses spéculations symbiogénétiques. Contrairement à certains, elle n'a par exemple jamais soutenu que le noyau ait d'abord été un microbe vivant en liberté. Elle supposait plutôt que le noyau était une structure émergente née des interactions intracellulaires entre symbiotes et anciens symbiotes. (...)