

*La vie,
quelle entreprise !*

OUVRAGES DE ROBERT BARBAULT

Des baleines, des bactéries et des hommes
Odile Jacob, 1994

Pour que la Terre reste humaine
en collab. avec N. Hulot et D. Bourg
Seuil, 1999
et « Points », n° P830

Biodiversité et changements globaux
en collab. avec B. Chevassus-au-Louis (dir.)
ADPF Publications, 2005

Un éléphant dans un jeu de quilles :
l'homme dans la biodiversité
préface de Nicolas Hulot
Seuil, coll. « Science ouverte », 2006
et « Points sciences », n° 180, 2008

Écologie générale : structure et fonctionnement
de la biosphère
cours et questions de révision, Licence, Capes
Dunod, 2008

Changements climatiques et biodiversité
en collab. avec A. Foucault
Vuibert, 2010

Les Invasions biologiques, une question
de natures et de sociétés
en collab. avec M. Atramentowicz
Quæ, 2010

Robert BARBAULT
Jacques WEBER

*La vie,
quelle entreprise !*

POUR UNE RÉVOLUTION
ÉCOLOGIQUE DE L'ÉCONOMIE

ÉDITIONS DU SEUIL
25, bd Romain-Rolland, Paris XIV^e

ISBN : 978-2-02-103002-0

© Éditions du Seuil, septembre 2010

Le Code de la propriété intellectuelle interdit les copies ou reproductions destinées à une utilisation collective. Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite par quelque procédé que ce soit, sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants cause, est illicite et constitue une contrefaçon sanctionnée par les articles L. 335-2 et suivants du Code de la propriété intellectuelle.

www.seuil.com

Extrait de la publication

« Les matières premières sont les cadeaux que nous fait la Terre. Cadeaux enfouis ou cadeaux visibles. Cadeaux fossiles, cadeaux miniers qui, un jour, s'épuiseront. Ou cadeaux botaniques que le soleil et l'activité de l'homme, chaque année, renouvellent.

Les matières premières sont des cadeaux qui parlent. Il suffit d'écouter. Elles nous chuchotent toutes sortes d'histoires à l'oreille : il était une fois..., dit le pétrole ; il était une fois..., dit le blé.

Chaque matière première est un univers, avec sa mythologie, sa langue, ses guerres, ses villes, ses habitants : les bons, les méchants et les hauts en couleur. Et chaque matière première, en se racontant, raconte à sa manière la planète. »

Érik Orsenna,
Voyage aux pays du coton, 2006, Fayard.

Avant-propos

Crise économique mondiale, effondrement de la biodiversité : du patrimoine naturel aux réserves bancaires souffle la tourmente... Mais quels rapports entre la rapacité aveugle de la finance et les élégantes hirondelles qui pourraient ne plus nous annoncer le printemps ? Quels liens entre flux monétaires et circulation d'espèces dans les écosystèmes ? Espèces... amusant que l'on puisse désigner par le même mot une liasse de dollars et des rossignols ! Mais il est également vrai qu'un « rossignol » est un instrument pour crocheter les serrures.

Une crise financière vient de battre son plein – et pourrait n'avoir pas dit son dernier mot. On comptait en centaines de milliards d'euros par-ci, milliers de milliards de dollars par-là. Ce qui s'était envolé, ce qui fut rêvé, ce qu'il nous faudra payer. Compagnies d'assurances et banques ayant pignon sur rue se sont effondrées ou affaiblies ; des gouvernements, après avoir dissimulé tant bien que mal leurs sentiments d'incompréhension, d'impuissance, voire de panique, ont réagi, c'est-à-dire mobilisé beaucoup d'argent pour sauver les meubles. Des entreprises, petites et grandes, ont été emportées dans une tourmente sans précédent depuis celle de 1929 et qui dure. Certaines disparaissent, d'autres perdent pied et le chômage monte en flèche. Les États sont à leur tour fragilisés par les assauts des banques qu'ils venaient de sauver... Bref, une crise économique et sociale majeure sévit, de l'Est à l'Ouest et du Nord au Sud.

Alors, dans ce contexte, parler de nature, du potentiel de richesse que représente la biodiversité, peut passer pour de l'inconscience ou de la provocation. Pourquoi perdre son temps avec des histoires de

petites fleurs et de chants d'oiseaux ? Rêves de poètes ou de naturalistes à côté de leurs pompes ! Eh bien, ce sont plutôt les responsables des systèmes financiers du monde qui furent et sont à côté de leurs pompes, enivrés par leur appétit du gain, entraînés dans des jeux sans fin et sans fonds, empochant les bénéfices et laissant aux peuples dettes et déficits. « Privatisation des profits, et socialisation des pertes », telle est la devise des *managers* néolibéraux. Et n'ont-ils pas raison, quand les gouvernements laissent faire, quand les contribuables viennent à leur secours et qu'ils reconstituent bien vite leurs bonus et parachutes dorés ? Qui a perdu le contact avec la réalité, les poètes de la biodiversité ou les prédateurs de la finance, œil collé aux cours de la Bourse ? Ne sommes-nous pas tous assis sur le capital naturel, ses produits et services ?

Érik Orsenna nous le rappelle joliment dans l'introduction de son remarquable *Voyage aux pays du coton* : l'édifice humain tout entier repose sur la Nature, dont la biodiversité est l'un des visages. Notre propos est précisément de montrer la biodiversité comme l'entreprise planétaire qu'elle est. Une entreprise qui s'est construite, perfectionnée et qui fonctionne depuis près de 4 milliards d'années : n'est-ce pas le paradigme même de ce développement « durable » que l'on nous rabâche comme une incantation et auquel on ne réfléchit guère de façon critique tant cela nous coûte de remettre réellement en cause notre mode de développement actuel, qui n'est pas durable – tout le monde ne l'a-t-il pas admis ? Une entreprise qui gère ses matières premières, ses *inputs* et *outputs* à l'échelle planétaire, en s'appuyant sur l'interdépendance de ses éléments – humains y compris – à toutes les échelles de taille, d'espace, de temps. Une entreprise qui maîtrise de longue date l'énergie solaire (photosynthèse) ainsi que l'énergie bio-chimique, à l'exemple des raies, des lucioles et de nombre d'animaux des grands fonds marins. Une entreprise qui recycle intégralement ses déchets, les déchets des uns étant la nourriture des autres. Une entreprise hautement adaptative dans l'espace et le temps, conçue pour tirer parti des caractéristiques du monde réel : instabilité, variabilité, changement. Elle se déploie aussi bien dans des mondes sans lumière, dans les abysses océaniques,

qu'au sommet des montagnes, dans les glaces polaires ou dans les déserts les plus arides.

Elle a donc beaucoup à nous apprendre, cette biodiversité, aux gouvernements sans boussole, aux gonfleurs de bulles financières comme à leurs victimes, c'est-à-dire nous tous. Car la question qui se pose au monde est bien celle d'une *biosphère durable*, pour reprendre l'intitulé d'un texte novateur de l'Ecological Society of America qui date de 1991 et signé par Jane Lubchenco¹, aujourd'hui conseillère scientifique pour l'écologie dans le gouvernement Obama.

Le champ est vaste. Mais c'est seulement en considérant la biosphère entière, un monde vivant ouvert sur celui des hommes et de leurs avatars, que nous pourrions espérer comprendre d'où nous venons et ce qui nous arrive ; comprendre qu'à ne rien changer nous risquons d'être entraînés au pire ; comprendre, enfin, comment il est possible de redresser la barre. Car « *pour affronter positivement l'avenir, il faut, d'abord, mieux déchiffrer le monde qui nous entoure et mieux percevoir comment il change* », nous rappellent les économistes Joseph Stiglitz, Amartya Sen et Jean-Paul Fitoussi, dans un rapport commandé par le président de la République². Bref, retrouver une boussole !

Tel est l'objectif ambitieux de ce livre. Pour s'en approcher, il fallait nécessairement, en s'appuyant sur les travaux de nombreux collègues, allier les regards de l'écologie et de l'économie, les compétences du naturaliste et celles de l'anthropologue. Approfondir le champ *ensemble* pour construire une vision partagée et non juxtaposer deux discours étrangers l'un à l'autre. C'est ainsi que nous souhaitons entraîner le lecteur à la découverte de la puissance et des fragilités du monde vivant, aimant et pensant qui est le nôtre.

Ce voyage se déroulera en trois temps et sept étapes.

D'abord, *le temps de la machine vivante planétaire*, consacré à en saisir le fonctionnement : découverte rapide de la biodiversité, appréhendée ici comme entreprise globale, tissu vivant de la Terre, biosphère (chap. 1) ; familiarisation avec son organisation en réseau, point trop souvent négligé mais néanmoins crucial, puisque c'est par

cette propriété de la biodiversité que nous nous y enracinons et en profitons, que nous trouvons notre identité planétaire – que nous la comprenons vraiment (chap. 2) ; sensibilisation à la crise qu'elle traverse – ou plutôt que nous traversons –, symptôme du pillage sans vergogne que nous lui faisons subir et des menaces écologiques, économiques et sociales qui en résultent (chap. 3).

Puis, en un deuxième temps, au cours des étapes 4 et 5, s'affirmera une transition essentielle, déjà lisible dans ce qui précède. On pourrait l'appeler *le temps des humains*, celui de l'impressionnante appropriation du monde que nous avons accomplie (chap. 4), somme toute en peu de temps, grâce à la révolution néolithique puis technindustrielle ; et son revers : aurions-nous laissé l'humain en chemin dans cet étourdissant succès ? Le chapitre 5 montrera que les jeux ne sont pas faits... Transition où l'« agri-culture », pour reprendre l'expression de l'économiste britannique Jules Pretty³, nous servira de médiateur – fil conducteur tout au long de l'ouvrage car interface riche et féconde entre le monde de la nature d'où nous croyons être sortis et le nôtre, celui que, petit à petit, nous réduisons inconsidérément à l'économie financière.

Ainsi s'ouvre le troisième temps, celui de la prise de conscience, du redressement de perspective ; temps de l'action, avec en leitmotiv ce double mot d'ordre : changements et solidarités. On l'appellera *le temps de l'écologie* – la vraie, une écologie globale marquée par une vision du monde débarrassée des masques trop longtemps imposés par le politiquement correct, un soi-disant réalisme à courte vue, l'interdit de rêver. Voilà pourquoi sans doute, de sommet planétaire en conférence mondiale, de Stockholm 1972 à Rio 1992, de Johannesburg 2002 à Copenhague 2009, on a l'impression que rien ne peut vraiment changer. À qui profite le crime ? À cette oligarchie, ces riches dont Hervé Kempf raconte « comment [ils] détruisent la planète⁴ » ?

N'attendez pas là de solutions ou recettes toutes faites, clés en main, mais un renouvellement de perspective, un élargissement des points de vue, une réhabilitation de l'imagination créatrice des hommes – bref, d'autres façons de poser des questions qui ne sont

pas neuves. Et c'est alors que les solutions prendront forme, se forgeront collectivement, dans un contexte de démocratie partagée. Là encore, le champ fécond *des* agricultures nous servira de cadre et de terreau. On verra que notre avenir était déjà présent dans ces « hiers » bafoués, méprisés, ignorés ; car il est dans l'humain et seulement dans l'humain – lequel n'est pas né d'hier : notre avenir a de l'âge ! On découvrira aussi que, pour changer vraiment, efficacement, il faut renouer avec la nature – et que cela ne veut pas dire cultiver le passé (chap. 6). Au contraire, nous sommes appelés à changer d'ère (chap. 7) et nous esquisserons quelques-unes des voies qui s'ouvrent à nous, toutes ancrées dans le riche patrimoine qu'on appelle tantôt « nature », tantôt « biodiversité » ou encore « biosphère » – mais un patrimoine auquel nous contribuons aussi, en en faisant partie. Un rêve de solidarité écologique ?

1. La biodiversité, première entreprise de la planète

« Sans le saule, comment connaître la beauté du vent ? »

Lao She.

Il est habituel, et normal, de *voir* la biodiversité, la diversité du vivant, à partir de la profusion de plantes et d'animaux qui peuplent la Terre. C'est ce que les définitions classiques rappellent à juste titre, en soulignant ses trois composantes, ses trois niveaux constitutifs : la diversité infra-spécifique, propre à chaque espèce ; la richesse spécifique, qui se décline en 1,8 million d'espèces identifiées, quelques dizaines de millions à découvrir et des centaines ou milliers de millions déjà éteintes depuis l'origine des temps vivants (en mélangeant gaillardement microbes et séquoias, insectes et mammifères, vils agents pathogènes et honorables australopithèques nos ancêtres) ; et enfin la diversité écologique, qu'on l'appréhende en termes de fonctions écologiques (diversité des modalités d'être, insectivore ou phytophage, fixateur d'azote ou décomposeur de cellulose, fabricant de calcaire ou bâtisseur de maisons, etc.) ou d'écosystèmes.

Dans le cadre de cet ouvrage nous vous proposons une autre définition, plus saisissante et plus concrète : la biodiversité c'est le tissu vivant de la planète, le capital naturel de nos territoires, de nos pays – de notre monde. C'est-à-dire une multitude d'interactions entre organismes vivants dans des milieux en changement. Et l'on

ajoutera : nous en faisons partie. Ce disant, nous faisons donc de la Vie, ce phénomène apparu sur *notre* planète il y a près de 4 milliards d'années, l'objet même de notre attention et de nos propos. Le vivant a envahi toute la Terre, dans ses moindres recoins – y compris les replis de nos intestins où prospèrent, pour notre plus grand bien, quelques centaines d'espèces de microbes. Et il en a profondément transformé la physionomie et le fonctionnement de surface, jusqu'à changer complètement la composition chimique de son atmosphère : à la différence de Mars ou Vénus où domine le gaz carbonique (95 %), la Terre affiche ses 78 % d'azote et 21 % d'oxygène – le gaz carbonique ne s'y rencontrant qu'à l'état de traces. Parce que la Vie y est intervenue : la photosynthèse des cyanobactéries puis des végétaux a contribué à fixer du gaz carbonique et à relâcher des quantités massives d'oxygène, tandis que les coquilles en carbonate de calcium fabriquées par certaines algues et beaucoup d'animaux s'accumulaient au fond des mers, y piégeant l'essentiel du gaz carbonique et contribuant ainsi à la formation des roches calcaires. Qui parle encore avec mépris des petites fleurs et des chants d'oiseaux ?

Bien sûr, ce qui caractérise ce tissu vivant, c'est d'abord sa diversité. D'où ce nom de biodiversité qui date de la fin de la décennie 1980. Mais que l'idée de diversité, que la profusion des êtres et des formes, ne nous fassent pas perdre de vue l'essentiel, résumé ici en huit points : sur Terre, la biodiversité est partout ; c'est une affaire qui s'inscrit sur des milliards d'années ; chaque forme, chaque espèce est un prodige, une collection d'inventions pour se nourrir, survivre et coopérer, se multiplier et durer jusqu'à plusieurs millions d'années ; le moteur de cette profusion réside dans le jeu des interactions qui se nouent entre tous ces êtres vivants ; ce réseau d'interactions s'inscrit dans des espaces, des territoires, où aujourd'hui nous vivons ; toutes ces vies se déroulent dans un monde qui ne connaît que le changement auquel elles contribuent par leur seule existence – vivre, c'est changer et faire changer ; pour le vivant la diversité est une stratégie d'adaptation aux changements, une assurance sur l'avenir ; enfin, ce système fonctionne, produit, recycle – bref, il s'agit d'une véritable entreprise... dont l'activité des nôtres dépend.

La vie est partout

La biodiversité ne se réduit pas aux espèces phares, panda géant, tigre de Sibérie ou baleine à bosse, ni aux grands espaces tropicaux type savane de l'Est africain ou forêt amazonienne : la vie est partout, visible ou invisible, et avec elle, de la diversité !

Partout et surabondantes, quoique invisibles, des bactéries. Prenez une pincée de terre, n'importe où : savez-vous que vous tenez dans vos doigts entre 10 000 et 50 000 espèces de bactéries ? Longtemps ce petit monde invisible est resté ignoré, parce que la majeure partie n'en était pas cultivable, c'est-à-dire accessible à l'analyse et à l'identification. En 1990, une première estimation basée sur la discrimination de l'ADN d'un sol a donné le chiffre moyen de 4 000 génomes bactériens différents par gramme de sol. Des travaux ultérieurs ont montré que cette richesse était un caractère général des sols, enregistrant même le record de 830 000 espèces par gramme¹. À noter que c'est bien d'espèces et du *nombre d'espèces* qu'on parle ici et non d'individus. Ceux-ci sont évidemment immensément plus nombreux que les chiffres avancés... mais trop difficiles à quantifier.

En fait, la terre des sols de nos cultures ou de nos forêts représente un univers complexe, un zoo des plus incroyables. Constituée à partir de la roche sous l'action du climat et surtout d'une multitude d'organismes, elle résulte de milliers d'années d'évolution. Ainsi, sous l'empreinte de votre semelle laissée sur un sol forestier vivent de l'ordre de 2 à 3 millions d'organismes unicellulaires, 2 000 à 5 000 micro-arthropodes (collemboles, acariens), 20 000 vers nématodes, une dizaine de larves d'insectes, quelques vers de terre, une araignée, un cloporte et un mollusque².

Partout, même là où ça paraissait impossible – impossible à vivre, s'entend. De la vie dans les geysers et sources bouillantes du parc de Yellowstone, dans l'Ouest des États-Unis ? Certes, il a fallu attendre 1967 pour que le biologiste Thomas Brock y identifie une bactérie, *Thermus aquaticus*, encore capable de se multiplier à 78 °C. Cinq ans plus tard, il décrit *Sulfilobus acidocaldarius* : son nom signe ses

exploits, puisque cette bactérie nouvelle pour la science est capable de se développer jusqu'à 85 °C, pourvu que son milieu soit acide et riche en soufre ! Comme nous le raconte fort bien Patrick Forterre³, ces « microbes de l'enfer » ne furent que les premières des bactéries extrémophiles (leur nom dit bien où est leur vice) découvertes par les chercheurs : bien d'autres ont été trouvées depuis, telles, en milieu océanographique profond, des espèces capables de vivre à 120 °C. Comment ne pas évoquer les peuplements extraordinaires découverts à la fin des années 1970 à proximité immédiate des « fumeurs noirs », ces cheminées qui crachent un fluide à haute température (350 à 400 °C) le long des dorsales océaniques, à quelque 2 000 à 3 000 mètres de profondeur⁴ ? Il s'agit là d'un véritable écosystème abyssal, alimenté par les détritiques qui y tombent et fonctionnant grâce à l'aptitude à oxyder les sulfures développée par des auxiliaires bactériens. Installées dans les tissus spécialisés des grands vers vermentifères qui peuplent cet écosystème, des bactéries les font profiter de ce que l'on appelle une « chimiosynthèse » : alimentées en oxygène, dioxyde de carbone et sulfure d'hydrogène par la circulation sanguine du ver, elles se développent, fabriquent et libèrent des molécules organiques qui nourrissent le ver. Ainsi, la chimiosynthèse par oxydation des sulfures remplace, dans ce monde abyssal totalement obscur, la photosynthèse impossible faute d'énergie solaire (et donc de plantes vertes).

De la vie sauvage au cœur des grandes villes d'Europe ! Demandez aux mésanges charbonnières qui, à Londres, sur le perron des maisons, décapsulent les bouteilles de lait après le passage du laitier pour se repaître de la crème... ou aux renards qui, à la nuit tombée, font la tournée des poubelles. Prenons le cas de Paris. Certes, les sangliers ne remontent pas encore l'avenue des Champs-Élysées – pas encore. Mais les spécialistes ont répertorié dans notre capitale pas moins de 166 espèces d'oiseaux, dont 51 s'y reproduisant ! Savez-vous que le faucon crécerelle niche sur les tours de Notre-Dame ? Et avec les oiseaux, tous leurs parasites et bien d'autres espèces encore : 32 espèces de mammifères (le renard a été vu dans le jardin du Luxembourg et une fouine avait même élu domicile dans les combles du Palais-

Bourbon... Quant aux rats et souris, qui n'en a surpris ici ou là, dans les galeries du métro par exemple); 3 espèces de reptiles; 9 espèces d'amphibiens – tritons, crapauds ou grenouilles (le gentil crapaud accoucheur, dont le mâle porte les œufs sur son dos, et le futé renard fréquentent le Jardin des Plantes!); 36 espèces de poissons; plus de mille espèces d'insectes, araignées, mollusques ou crustacés; 761 espèces de plantes supérieures et quelque 400 espèces de végétaux inférieurs (algues, mousses, lichens, champignons). Oui, les grandes villes sont doublement vivantes, triplement devrions-nous dire, avec leurs actives populations d'*Homo sapiens* et les nombreuses populations d'animaux de compagnie qu'ils y ont introduites et, enfin, une riche nature «sauvage». Au point, par exemple, qu'il a été possible de publier un *Atlas de la nature à Paris* de 288 pages⁵.

De la vie aussi, on l'a déjà dit, dans le tube digestif de tous les animaux évoqués à l'instant à propos de la faune parisienne – et donc dans nos propres intestins. À ce propos on devrait plutôt parler d'écosystème intestinal, car ce riche peuplement de quelque mille espèces de microbes (de l'ordre de 150 en chacun de nous), qui rassemblent 10^{14} cellules, c'est-à-dire cent mille milliards de bactéries (à comparer avec nos 10^{13} cellules corporelles... soit dix fois moins – mais nos cellules sont dix mille fois plus volumineuses), fonctionne avec nous pour notre plus grand bien.

Quant aux déserts, le contraire de la vie presque par définition, il faut ne pas les connaître pour croire que la vie, et parfois une vie riche et intense, n'y a pas pénétré. De nombreuses espèces, appartenant à des groupes très différents de plantes et d'animaux – et bien sûr de microbes –, se sont adaptées aux conditions de vie particulières de ces écosystèmes où l'eau est rare. Ainsi, dans de nombreux déserts côtiers, Atacama au Chili ou Namib dans le Sud-Ouest de l'Afrique, il ne pleut jamais. Cela pose un sérieux problème pour l'alimentation en eau des populations humaines qui y vivent. Pourtant, des animaux et des plantes ont su s'y adapter et, de ce point de vue, le Namib, le plus ancien désert du monde, est exemplaire. Il ne pleut pas, mais l'eau est présente sous forme de brouillards parfois denses et assez fréquents. Un coléoptère de ce désert, du genre *Stenocara*,

parvient à collecter cette eau : faisant face au vent il utilise les reliefs de ses ailes pour fixer les gouttelettes, lesquelles s'écoulent ensuite dans des sillons conduisant à la bouche de l'insecte. En s'inspirant de ce mécanisme, Andrew Parker, de l'université d'Oxford, et Chris Lawrence, de QuinetiQ, ont pu concevoir des matériaux simples et peu onéreux, mais efficaces, pour mieux alimenter en eau les paysans du Chili⁶. Anecdotique, cette histoire ? Que non : des chercheurs de l'IRD (Institut de recherche pour le développement) avaient déjà montré le rôle et l'utilisation humaine des cactus de l'Atacama, ainsi que des arbres à brouillards aux Canaries et au Yémen, pièges à eau diffuse fort précieux. Quant aux froids extrêmes, chacun sait qu'ils ont réussi aux manchots. S'ils y survivent avec succès, parfois à des froids de - 50 °C et sous des vents souvent très supérieurs à 100 km/h, c'est grâce à des adaptations physiologiques, morphologiques et comportementales particulièrement remarquables, et à la capacité à rechercher leur nourriture loin en mer... et à la conserver – on y reviendra.

Une affaire de milliards d'années

La biodiversité a une histoire, comme chacun d'entre nous. À ceci près que, dans celle-là, les jours durent des milliers d'années, les années des millions d'années. Bref, c'est une tout autre affaire, puisqu'il y a 3,8 milliards d'années que ça dure. En d'autres termes, avec le vivant, nous sommes confrontés à des échelles de temps qui nous dépassent. Si l'on veut comprendre la biodiversité, sa nature, sa dynamique et ses enjeux, il nous faut avoir ce regard, cette attention... et le respect auquel elle nous invite.

Depuis son apparition sous forme de molécules organiques capables d'autoréplication, précurseurs des ADN actuels, le vivant n'a cessé de se diversifier, colonisant les océans, puis plus tard les terres et milieux d'eau douce pour constituer les réseaux d'êtres vivants et écosystèmes complexes que nous connaissons aujourd'hui. Mais que de temps il a fallu pour que s'accomplissent toutes ces «révolutions»,

suite à des inventions décisives, que les évolutionnistes John Maynard Smith et Eörs Szathmáry (1997) ont appelées les huit *transitions majeures*⁷. Ces transitions marquent des sortes de sauts évolutifs, l'accès à des types d'organisation plus complexes – après de longues phases d'«*encéphalogrammes plats*», c'est-à-dire d'inertie. Ces changements majeurs, qui demandèrent le franchissement d'obstacles difficiles, sont le fruit de véritables inventions dans l'organisation du vivant. Des huit transitions identifiées par Maynard Smith et Szathmáry, deux se produisirent à plusieurs reprises dans la longue histoire de la Vie. Il s'agit de l'apparition des organismes multicellulaires, qui s'est produite à trois reprises, et celle des colonies animales présentant des castes d'individus stériles, qui est survenue de nombreuses fois. Mais que six transitions aient été uniques, comme d'ailleurs l'origine de la vie elle-même, traduit la hauteur de l'exploit. La plupart sont le fruit d'une association, d'un mariage indissoluble : des entités, antérieurement capables de réplication indépendante, ne peuvent plus après la transition se répliquer qu'en tant qu'éléments d'un système plus vaste. C'est le cas de la symbiose eucaryote (voir encadré) comme de l'apparition des organismes multicellulaires ou des espèces sociales.

Une symbiose créatrice, la cellule eucaryote

À la différence des bactéries, qui sont des procaryotes, êtres unicellulaires dépourvus de noyau (le chromosome bactérien flotte librement, et seul, dans le cytoplasme), les organismes dits eucaryotes, de l'amibe unicellulaire à l'homme, sont dotés de cellules à noyau central bien individualisé, renfermant les chromosomes, et séparé du cytoplasme par une double membrane. Les cellules eucaryotes sont beaucoup plus grandes que les procaryotes, leur volume en étant environ 10 000 fois supérieur. Outre la taille et la présence du noyau, les cellules eucaryotes se distinguent des cellules procaryotes par la présence d'organites, mitochondries et chloroplastes (ces derniers seulement chez les algues et les plantes). Les premières jouent un rôle essentiel dans

le métabolisme énergétique cellulaire. Elles sont délimitées par deux membranes, possèdent leur propre ADN et se multiplient par division binaire comme de véritables cellules. Et il en est de même des chloroplastes, qui synthétisent des composés organiques à partir d'éléments minéraux grâce à l'énergie lumineuse qu'ils captent à l'aide de pigments photosynthétiques, dont la chlorophylle est le plus connu. Bref, ces organites ont tous les atouts d'être vivants à part entière. Il n'est donc nullement étonnant que l'observation de leur structure et de leur mode de reproduction ait amené certains chercheurs, il y a près d'un siècle, à suggérer que ces organites descendraient de bactéries autrefois autonomes. Mais c'est la microbiologiste américaine Lynn Margulis qui a accumulé le plus d'arguments en faveur de l'origine «étrangère» des mitochondries et des chloroplastes, jusqu'à ce que les analyses comparées de l'ADN des bactéries et celui des organites des cellules eucaryotes apportent la preuve définitive que nos cellules résultent bien d'une association mutualiste – c'est-à-dire à bénéfices réciproques – qui remonterait à 2 milliards d'années environ. Ainsi, à l'origine de cette révolution biologique majeure, on aurait eu l'invasion de cellules vivantes par des bactéries parasites. L'association est aussitôt devenue durable, puisque ces dernières n'avaient plus qu'à se diviser en même temps que la cellule hôte pour se transmettre indéfiniment. Ce fut là une symbiose définitive⁸.

Fruit de l'association intime et définitive d'organismes d'espèces différentes – une symbiose multiple –, l'apparition de la cellule eucaryote dans l'évolution de la vie, il y a quelque 2 milliards d'années, a préparé la voie à l'émergence des organismes pluricellulaires, plantes et animaux. C'est la quatrième transition majeure de Maynard Smith et Szathmáry, qui ouvre un nouvel espace à la vie et à sa diversification, après le monde en apparence trop simple des procaryotes.

Quant aux organismes pluricellulaires eux-mêmes, rendus possibles par cette invention de la cellule eucaryote, ils n'apparurent qu'il y a moins d'un milliard d'années, au terme de 3 milliards d'années d'évolution «silencieuse», c'est-à-dire n'ayant laissé que peu de traces, une évolution faite de bactéries et d'êtres unicellulaires néanmoins