Changer d'histoire : un défi pour demain

Rendre aux autres vivants la place qui leur revient

Étude ▪ Bruno Poncelet ▪ Décembre 2021

CENTRE D'ÉDUCATION POPULAIRE
ANDRÉ GENOT
rue de Namur 47 • 5000 Beez
T. 081/26 51 52 • F. 081/26 51 51
cepag@cepag.be • www.cepag.be

Introduction

Réunis à Glasgow du 31 octobre au 12 novembre derniers pour une 26ème réunion de l'ONU visant à lutter contre le réchauffement climatique (la COP26), les chefs d'état présents ont de nouveau accouché d'une souris. Alors qu'ils devaient s'engager à prendre des décisions fermes pour respecter un accord de réduction des gaz à effet de serre signé il y a six ans à Paris[1], les quelques 200 pays réunis sont restés très en-deçà de l'objectif visant à limiter le réchauffement climatique à maximum +1,5 °C d'ici la fin du siècle.

Toutefois, alors que l'épidémie de Covid n'en finit pas de nous désespérer en jouant des prolongations interminables, l'échec de la COP26 ne semble ni inquiéter, ni révolter outre mesure la majorité silencieuse qui n'a qu'un rêve en tête : reprendre une « vie normale ». Si cette envie est certes légitime, elle est aussi - d'une certaine manière - dangereuse. Car les problèmes environnementaux qui s'invitent à la une des médias (ouragans et tornades de plus en plus puissantes, pluies diluviennes amenant des inondations catastrophiques, sécheresses et incendies massifs notamment en Australie et en Californie, etc.) ne vont pas disparaître comme par magie, juste en fermant les yeux. Or, en rêvant juste de reprendre une vie normale, on fait mine d'ignorer que les crises environnementales qui nous frappent (avec le réchauffement climatique ou l'épidémie de Coronavirus) sont en grande partie liées à la « vie normale » dans un système, le capitalisme, qui nous invite à consommer toujours plus de tout et de n'importe quoi, sans jamais nous soucier des conséquences pour autrui. C'est pourquoi les discours anti syndicaux fleurissent au moment même où les conditions de travail d'innombrables salariées et salariés se dégradent. De même, c'est dans l'indifférence générale que l'exploitation excessive des « ressources naturelles » et autres « matières premières » va s'accélérant, détruisant chaque jour davantage la biodiversité[2].

S'il en est ainsi, ce n'est pas parce que nous sommes « méchants » ou égoïstes, mais plutôt parce que nous avons reçu une éducation collective biaisée par des *a priori* culturels et identitaires qui nous illusionnent quant à notre place dans ce monde. Façonnée par les générations qui nous ont précédés au cours des siècles précédents, la culture moderne (qu'elle soit de gauche ou de droite) repose en effet sur un paradigme tout puissant : l'être humain serait une espèce à part, située loin au-dessus des autres grâce à son intelligence qui lui permettrait toujours d'innover et d'imaginer des solutions afin de surmonter n'importe quel défi. Alors, pourquoi s'en faire ?

[1] Pour rappel, les gaz à effet de serre présents dans l'atmosphère (comme le méthane ou le CO_2) augmentent la chaleur terrestre en retenant une partie de l'énergie solaire sur la Terre. S'il s'agit d'un phénomène plutôt heureux (sans effet de serre, la température sur Terre serait si basse que notre planète se métamorphoserait en une immense boule de glace), l'usage abusif d'énergies fossiles amplifie fortement - et dangereusement ! - le phénomène en rejetant massivement du CO_2 dans l'atmosphère.

[2] Calculé par l'ONG *Global Footprint Network*, le jour du dépassement planétaire (*Earth Overshoot Day* en anglais) tente d'évaluer le moment de l'année où l'humanité a consommé toutes les ressources biologiques que la Terre est capable de régénérer d'une année à l'autre. Même si l'estimation est approximative, un fait est par contre avéré : l'accélération des prédations humaines de la nature est attestée par une arrivée de plus en plus précoce du jour du dépassement. Ainsi, celui-ci tombait le 7 décembre en 1990, le 1er novembre en 2000, le 21 août en 2010 et le 29 juillet en 2021 (source : Wikipédia, « jour du dépassement »).

Les *matières premières* : une vision tronquée de la réalité

Pour la plupart d'entre nous, la nature a quelque chose de divertissant. C'est un merveilleux décor dans lequel on peut aller se promener - le temps de vacances à la mer, aux sports d'hiver ou d'une balade dans les bois -, avant de revenir à ce qui fait le sel de notre existence : les relations humaines. En plus d'être un lieu de vacances ou de sortie réjouissant, l'environnement est surtout - d'un point de vue collectif - un coffre-fort aux richesses indispensables. C'est en effet là que les empires marchands vont puiser les « *ressources naturelles* » et autres « *matières premières* » nécessaires pour confectionner la multitude d'objets et de services que nous consommons avec un plaisir frénétique. Étroitement liées au langage économique, les expressions *ressources naturelles* et *matières premières* sont loin d'être anodines. Elles dévoilent en creux notre rapport identitaire (en tant que société) à la nature qui, à en croire la logique économique, serait essentiellement là pour nous servir. Dans nos sociétés modernes où la croissance économique est une priorité politique inamovible, la nature est au fond un faire-valoir. C'est-à-dire une figurante de second plan. Une modeste servante dont le rôle consiste à répondre constamment aux demandes et exigences prédatrices de la seule héroïne de l'histoire : l'humanité en quête de progrès matériel.

Dans cette vision du monde autocentrée sur les bipèdes que nous sommes, la civilisation humaine est si éblouissante qu'elle agit comme un puissant Soleil sur nos consciences : aveuglés par son feu ardent et ses prouesses technologiques, nous discourons sans fin sur les relations humaines qui s'y déroulent (qui commande, qui est dirigé, qui a raison, qui a tort, qu'est-ce qu'il y a comme nouveaux produits à consommer… ?) jusqu'à en perdre de vue les innombrables relations tissées entre les autres vivants. Des relations dont nous ignorons à peu près tout : quels rôles ont-ils joué « hier » dans la grande histoire de la vie ? Quels rôles continuent-ils à jouer aujourd'hui ? Quelle est leur influence sur nos vies ?

Prenons le monde minéral : l'économie nous fait croire qu'il s'agit de simples *ressources naturelles*, raison pour laquelle nous qualifions volontiers les minerais de *matières premières*. Autrement dit, des choses inertes et passives que nous pouvons exploiter en éventrant la Terre sans merci, pour en extraire énergies fossiles (charbon, pétrole, gaz), gisements précieux (or, argent, cuivre, uranium) et autres composants nécessaires à nos modes de vie - comme les terres rares sans lesquelles point de révolution numérique. Cette vision économique du monde est tellement ancrée dans notre inconscient collectif qu'elle fait partie prenante de notre vocabulaire. Ainsi, le mot minéral désigne l'une des trois grandes catégories nous servant à diviser la nature (composée des règnes animal, végétal et minéral), mais il est également associé aux idées d'immobilité, de froideur et d'éclat[3]. Comme s'il s'agissait de choses figées n'attendant que nous pour servir à quelque chose.

Pourtant, le monde minéral n'est ni inerte, ni passif. Bien au contraire : c'est un personnage complexe et puissant, ambigu au possible, perpétuellement mouvant et doué du don d'ubiquité car il n'est jamais exclusivement là où on l'attend. Loin d'être un simple décor physique (la terre ferme) sur lequel nous marchons chaque jour, le monde minéral s'apparente davantage à un théâtre vivant. Il porte en lui une foule d'entités mutantes (les molécules chimiques du tableau de Mendeleïev) capables de changements étonnants - parfois très lents, souvent invisibles - aux conséquences tantôt anodines, tantôt

[3] Alain Rey, *Dictionnaire historique (L'origine et l'histoire des mots racontées par Alain Rey)*, Paris, Édition Le Robert, 2016 (1ère édition : 1993), p.1412.

merveilleuses ou catastrophiques. En effet, les multiples interactions régnant au sein du monde minéral peuvent changer radicalement la face du monde, ainsi qu'elles l'ont fait (pour le meilleur comme pour le pire) à de multiples reprises par le passé. Raison pour laquelle nous allons démarrer notre périple par une visite de courtoisie à ces entités qui passent totalement inaperçues sous le radar de notre considération : les peuples minéraux solides… et leurs alter ego (gazeux, liquides) plus ou moins volatiles.

Peuples minéraux : une immobilité qui n'est qu'apparence[4]

S'il est une chose que nous aurions du mal à reconnaître, c'est bien notre planète à sa naissance. Fruit des collisions incessantes de météores qui se percutent et s'assemblent pour former une sphère de plus en plus grosse, la Terre se forme il y a environ 4,5 milliards d'années dans une chaleur infernale. C'est en effet une planète bouillonnante qui effectue ses premières rondes dans l'espace autour du Soleil naissant, lequel est alors moins chaud et lumineux qu'aujourd'hui[5]. Malgré tout, bombardée par une pluie incessante de météorites, la surface de notre Terre est une fournaise de plusieurs milliers de degrés, empêchant tout sol solide de se constituer. C'est donc à l'état de fluides que de nombreux composants minéraux (principalement du fer, mais aussi de l'uranium, du thorium, du potassium…) migrent progressivement vers le centre de la Terre pour y former un immense noyau métallique. De par sa composition chimique et les propriétés physiques des molécules qui le composent, ce noyau métallique va procurer à notre planète des avantages déterminants pour y voir germer la vie.

Premièrement, la formidable compression subie par le noyau (en raison du poids des couches externes qu'il supporte) et la présence en son sein d'éléments radioactifs vont y maintenir une chaleur de plusieurs milliers de degrés[6], dotant ainsi notre planète d'un chauffage interne profondément enfoui sous sa surface. Notons-le : ce chauffage permanent a des airs de cuisine minérale. Encore aujourd'hui, loin sous nos pieds, il continue de chauffer les entrailles de la Terre à des températures extravagantes, faisant fondre de nombreux minéraux qui se mélangent les uns aux autres de façon incessante. Et tout comme la vapeur s'échappe de la casserole lorsque nous faisons cuire un repas, une partie des fluides minéraux chauffés sous terre se transforment en gaz et font pression pour remonter vers la surface. Il se crée ainsi une sorte de « tapis roulant » où les minéraux des couches intérieures de la planète remontent vers la surface après avoir été transformés sous terre. À l'époque où aucun sol solide n'existait encore, cette « cuisine minérale » ne rencontrait aucun obstacle physique, créant ainsi un volcanisme intensif permanent.

Deuxièmement, la chaleur phénoménale régnant au centre de la Terre a également des conséquences sur la capacité de résistance aux vents solaires. Logiquement, ceux-ci sont assez puissants pour souffler, telle la flamme d'une bougie, les gaz produits par les éruptions volcaniques qui devraient dès lors s'évaporer dans l'espace. Heureusement, au centre de notre planète, la température extrême du noyau

[4] Source générale pour cette partie : Paul Mathis, *Biocène (comment le vivant a coconstruit la Terre)*, Paris, Le Pommier, 2021, pages 11-15.
[5] La chaleur du Soleil est alimentée par les fusions nucléaires qui se déroulent en son sein, lesquelles évoluent au fil du temps pour faire monter la puissance de notre astre solaire de 7% environ chaque milliard d'année.
[6] Selon Wikipédia (« structure interne de la Terre »), la chaleur du noyau interne (solide) est de l'ordre de 6.000°C tandis que le noyau externe (liquide) qui l'entoure serait de l'ordre de 4.000°C. D'autres estimations l'évaluent, selon la couche du noyau à laquelle on s'intéresse, à une température variant entre 3.800 et 5.500°C.

interne interagit directement avec les couches voisines de fer et de nickel (deux métaux conducteurs d'électricité) pour créer une dynamo géante : le bouclier magnétique terrestre. Imperceptible à nos sens, ce bouclier possède un formidable pouvoir magique : il détourne et freine la vigueur des vents solaires qui n'ont plus, dès lors, la force suffisante pour disperser dans l'espace la plupart des gaz volatiles terrestres. Autrement dit, grâce à l'effet dynamo du monde minéral, le bouclier magnétique terrestre « scotche » et retient les minéraux gazeux autour de la surface du globe où ils constituent un ingrédient pour le moins précieux : l'atmosphère.

En ces temps reculés où la vie n'a pas encore montré le bout de son nez, point d'oxygène à l'horizon : le volcanisme intensif rejette surtout d'énormes quantités de gaz carbonique (CO_2) et d'eau vaporeuse dans l'atmosphère, dont les composants minéraux interagissent pour étoffer davantage la panoplie d'actions décisives du monde minéral dans l'histoire. Tout d'abord, en tournant sur elle-même dans l'espace, la Terre est simultanément soumise à des vagues de chaleur torrides (du côté exposé au Soleil) et à des températures glaciales (du côté où il fait nuit). À titre d'exemple, la station spatiale internationale - qui orbite à environ 400 kilomètres au-dessus de nos têtes - peut voir ses températures extérieures osciller entre +121°C et -157°C selon la face exposée (ou non) au Soleil ! Par chance, à travers la dynamique des vents, l'atmosphère contribue à mélanger ces vagues de chaud et de froid pour nous éviter de tels écarts de températures entre le jour et la nuit. Par ailleurs, certains gaz présents dans l'atmosphère ont la faculté de retenir une partie de la réverbération solaire pour piéger sa chaleur sur Terre : c'est le fameux « effet de serre », rendu célèbre par les vulgarisations autour du réchauffement climatique. Bien plus abondant qu'à notre époque, le CO_2 présent dans l'atmosphère primitive a donc contribué à renforcer la fournaise terrestre qui sévissait lorsque notre planète est née. Pour que la température globale sur Terre puisse descendre vers des seuils plus cléments que ces milliers ou centaines de degrés, la concentration en CO_2 a nécessairement dû baisser. Un résultat rendu possible par la dynamique du monde minéral : lorsque la croûte terrestre commence à se solidifier vers 4,4 milliards d'années, le CO_2 présent dans l'atmosphère réagit avec les premières roches (et leur silicate) pour se métamorphoser en calcaire, délestant ainsi l'atmosphère d'une partie du gaz carbonique présent. Toutefois, l'eau vaporeuse provoque un phénomène inverse car elle réagit aussi avec le silicate des roches, mais pour former de l'ammoniac et… du méthane. Soit un autre puissant gaz à effet de serre, dont la présence autour du globe tend à relancer à la hausse les températures terrestres. Là encore, des interactions chimiques avec les rayons ultraviolets du Soleil[7] décomposent le méthane pour produire notamment de l'hydrogène (si léger, qu'il finit par s'évader dans l'espace).

Bref, l'atmosphère peut être vue comme la partie émergée d'un immense thermostat planétaire aux rouages si complexes qu'ils sont parfois contradictoires, tant abondent les interactions et mutations diverses entre entités minérales. Loin d'être stables ou inertes, celles-ci réagissent sans cesse les unes avec les autres, pour se métamorphoser en nouvelles molécules et changer d'état (les minéraux deviennent tour à tour solides, liquides, gazeux) dans un ballet perpétuel qui relie les entrailles de la Terre à l'atmosphère qui nous enveloppe… Bien entendu, ce ballet minéral compte également dans ses rangs la lumière et la chaleur produites par le Soleil, dont le cœur à fusion nucléaire malaxe les atomes pour fabriquer de nouveaux minéraux. L'un dans l'autre, il faut environ 400 millions d'années pour que ces mutations et interactions entre diverses entités minérales permettent à la température terrestre de tomber sous les 100°C - soit le seuil où la vapeur d'eau peut devenir liquide. Autrement dit, après une

[7] Les rayons du Soleil émettent sur une vaste panoplie de longueurs d'ondes allant de l'infrarouge (longueurs d'ondes supérieure à 710 nanomètres que notre œil est incapable de distinguer) en passant par les fréquences que nous pouvons voir (entre 710 et 380 nanomètres) jusqu'à l'ultraviolet (longueurs d'ondes en deçà de 380 nanomètres que notre œil ne peut pas distinguer). Un nanomètre équivaut à un milliardième de mètre.

longue naissance aux airs d'apocalypse, la Terre se pare d'un océan primitif (avec de l'eau liquide reposant sur un sol solide) il y a grosso modo 4 milliards d'années. Durant tout ce temps, le monde minéral était le seul acteur de la pièce, et c'est encore lui qui tient le premier rôle dans l'acte suivant… où surgissent (modestement) les premiers vivants.

Quand Dieu était minéral…

Encore aujourd'hui, l'apparition de la vie reste un intrigant mystère où deux grands scenarii s'opposent : soit les premiers êtres vivants sont venus de l'espace en voyageant dans une météorite venue percuter la Terre, soit ils se sont autoproduits à partir d'interactions chimiques entre des entités non-vivantes. Dans les deux cas, les substances minérales (sous forme d'astéroïdes ou de molécules terrestres) jouent un rôle clé.

Le premier scénario est-il plausible ? Assurément, car l'on sait qu'en dépit des conditions extrêmes régnant dans l'espace, certains virus et bactéries sont capables de survivre à un voyage spatial. (C'est d'ailleurs ce qui explique pourquoi nombre d'engins spatiaux sont stérilisés avant leur décollage.) Toutefois, si cette hypothèse devait s'avérer judicieuse (la vie serait arrivée sur notre planète via un météore habité par des microorganismes), elle ne fait que déplacer ailleurs la question de sa genèse initiale. Aussi allons-nous explorer davantage le second scénario, en nous intéressant à quelques recherches scientifiques remontant au milieu du XX^{e} siècle.

En 1953, le jeune chimiste américain Stanley Miller (1930-2007) tenta une expérience étonnante : il commença par enfermer dans un ballon divers ingrédients censés composer l'océan primitif avant l'apparition de la vie sur Terre (eau, ammoniac, méthane, dihydrogène), puis il bombarda le tout d'arcs électriques pour simuler des éclairs. Quelques jours plus tard, il criait eurêka : l'énergie électrique avait provoqué de multiples réactions chimiques dans sa « soupe primitive », où flottaient à présent des composés organiques (à base de carbone) et des acides aminés (constituant des protéines) qui sont autant de « graines » indispensables pour faire germer la vie telle que nous la connaissons. Si de nombreux scientifiques applaudirent l'expérience de Stanley Miller qui passa à la postérité sous le nom de « soupe primitive », les critiques ne manquèrent pas non plus. On reprocha notamment au jeune chercheur un cocktail de base pas assez conforme au modèle original (la composition supposée du grand océan primitif qui recouvrait la Terre il y a des milliards d'années).

Mais les suppositions évoluent parfois avec le temps. À la fin des années 1960, une hypothèse longtemps considérée comme farfelue gagna soudain ses galons de théorie scientifique établie : la tectonique des plaques. Bien que fixes et immuables à l'échelle d'une vie humaine, les continents sur lesquels nous vivons ne sont pas immobiles mais reposent sur des plaques tectoniques - sortes d'immenses radeaux souterrains qui dérivent lentement sur le manteau magmatique enfoui dans les profondeurs de la Terre. À certains endroits, les radeaux tectoniques dérivent l'un vers l'autre et s'entrechoquent, agitant follement leurs lourds passagers en faisant trembler la Terre, froissant au passage les continents pour créer une famille minérale célèbre entre toutes : les montagnes… et les volcans. Ailleurs, certains radeaux tectoniques s'éloignent les uns des autres et ouvrent des brèches au

magma et aux gaz souterrains qui tentent alors de remonter vers la surface… tantôt de façon flamboyante via ces prouesses pyrotechniques que sont les éruptions volcaniques, tantôt de façon plus discrète en alimentant des geysers d'eau bouillante comme ceux qu'on trouve dans le parc naturel du Yellowstone.

À sa manière incroyablement lente et puissante, la tectonique des plaques participe au phénomène de tapis roulant dévoilé plus haut : quand une plaque plonge sous l'autre, elle avale les fonds rocheux pour les immerger dans le magma des grandes profondeurs, où la chaleur du noyau liquéfie les composants minéraux qui se dissolvent, se séparent, se mélangent et se recomposent, avant d'un jour ressortir vers la surface sous forme d'éruptions et de geysers. Dans les années 1970, on a découvert que certains de ces geysers étaient situés au fond des mers et que leurs volutes bouillonnantes (l'eau peut y atteindre 400°C) comprenaient tous les ingrédients de base retenus par Stanley Miller pour concocter sa soupe primitive (dihydrogène, ammoniac, méthane), mais aussi du gaz carbonique, du monoxyde de carbone et une variété de métaux (lithium, manganèse, zinc…) susceptibles de remplacer les éclairs pour servir de catalyseurs aux réactions chimiques. D'où le questionnement suivant : ces sources hydrothermales volcaniques ne seraient-elle pas le berceau de la vie ? Une hypothèse d'autant plus crédible qu'on a depuis découvert une multitude d'êtres microbiens dits extrêmophiles, c'est-à-dire capables de prospérer dans ces milieux extrêmes où les autres vivants périraient instantanément.

Même s'il s'agit d'une hypothèse parmi d'autres[8], il y a là un scénario plausible pour remonter jusqu'à nos lointaines origines. Il y a de cela 4 à 3,5 milliards d'années, dans un monde ne ressemblant pas du tout à celui que nous connaissons, un immense océan recouvre la planète Terre. Si nous pouvions le voir avec nos yeux d'*Homo sapiens*, cet océan primitif paraîtrait aussi bizarre que toxique : l'eau y est très chaude, l'oxygène quasi absent, mais il abonde en métaux ferreux solubles qui lui donnent vraisemblablement une couleur gris-vert ainsi qu'une odeur d'œuf pourri. (Nous n'y aurions pas gaiement trempé les pieds, ni fait du surf, ni posé des essuies de plage à proximité !) Faute probablement de « radeaux » suffisamment solides et consistants pour s'entrechoquer, la tectonique des plaques n'a pas encore vraiment commencé à cette époque reculée.[9] Mais entretenue par la chaleur du noyau, la « cuisine minérale » tourne déjà à plein régime pour liquéfier certains minerais et produire des gaz sous pression. En remontant vers la surface, ceux-ci parviennent à percer par endroits la croûte terrestre sous-marine pour y faire germer de puissants volcans et des sources hydrothermales. Que ces dernières soient ou non capables de transformer des matières inorganiques en matières organiques, une chose est sûre : en vivant à leur rythme s'étalant sur des millions d'années, en interagissant les uns avec les autres, en prenant toutes sortes d'apparences (solide, liquide, gazeuse) au cours desquels ils se modifient et se recombinent par un effet tapis roulant les menant jusqu'à la cuisine minérale, ce sont bien les peuples minéraux qui offrent aux premiers vivants de quoi se nourrir.

[8] Une expérience de « soupe primitive » est en cours dans un laboratoire high-tech de l'institut Néel de Grenoble, où l'on tente de reproduire différents types de sources hydrothermales pour voir si certaines d'entre-elles peuvent, comme par magie, transformer des composants inertes (peuples minéraux) en composants organiques d'êtres vivants. Ce paragraphe s'inspire de l'article de Franck Daninos, *Une soupe primitive reproduite en laboratoire*, dans le dossier *L'origine du vivant* du magazine *La Recherche*, n°564, février-avril 2021.pages 48-51.

[9] Si la date d'apparition de la tectonique des plaques reste sujette à débat, on sait que ce processus s'était déjà mis en place il y a 2,5 milliards d'années. Il est donc vraisemblablement plus ancien.

La vie funambule

La vie repose sur un étrange paradoxe : pour être une entité vivante, il faut pouvoir s'isoler du monde en dressant une frontière entre soi et l'extérieur (c'est le rôle de notre peau) ; en même temps, cette barrière ne peut jamais être un écran total car vivre implique d'interagir avec ses voisins de manière à trouver des ressources et obtenir de l'énergie (c'est pourquoi nous respirons, nous buvons et nous mangeons).

Ce pari audacieux a été lancé sur notre planète, il y aurait environ 4 milliards d'années, par des pionniers à l'allure modeste : des microorganismes. Ces êtres lilliputiens sont tellement petits qu'ils sont invisibles sans microscope. D'ailleurs, leur corps rudimentaire n'est constitué que d'une seule cellule (on dit d'eux qu'ils sont des unicellulaires). Un corps si simple qu'il ne contient pas de noyau pour servir « d'usine » interne à la cellule (on dit d'eux qu'ils sont des procaryotes), mais qui possède toutefois une membrane externe pour s'isoler et se distinguer du monde environnant.

Une isolation toute relative : pour émerger en tant qu'entité organique, les premiers habitants lilliputiens de la Terre devaient nécessairement être adaptés aux contraintes imposées par les peuples minéraux (température, pression, composition chimique du milieu), qui étaient également les seuls pourvoyeurs de nourriture et d'énergie pour entretenir le métabolisme interne des vivants. Nés dans un monde anoxique (sans oxygène) où le cœur bouillonnant de la Terre ouvrait, sur le plancher sous-marin, des sources hydrothermales crachant notamment du souffre, du cuivre, des sulfures de fer, du CO_2, du méthane et de l'hydrogène, les peuples lilliputiens ont inventé une première manière de vivre déroutante à nos yeux : se nourrir d'ingrédients minéraux, et transformer ceux-ci en énergie grâce au métabolisme de la fermentation. Les molécules assimilées pouvaient être variables d'un milieu à l'autre (eau salée ou acide, hydrogène ou gaz carbonique, divers métaux produits par différentes sources hydrothermales…), toujours est-il que les organismes dits chimiolithotrophes disposaient d'un régime alimentaire fait de sels minéraux et qu'ils étaient parfaitement adaptés aux milieux extrêmes (acides, basiques, soufrés…) qui ont vraisemblablement marqué les débuts de la vie sur Terre[10].

Bref, non contents de doter la Terre d'un bouclier magnétique, d'un thermostat atmosphérique et d'un chauffage central (le noyau) créant une brassage - lent, mais perpétuel - des différents peuples minéraux, ces derniers sont également le théâtre nourricier des premiers êtres vivants que la Terre ait connus. D'une certaine manière, la « cuisine minérale » préparée dans les entrailles de la Terre sert ensuite de nourriture et de source d'énergie aux microorganismes de l'océan. Évidemment, en interagissant avec le milieu ambiant, les premiers êtres microscopiques transforment également le théâtre minéral en y ajoutant de nouvelles dynamiques et mutations. Par exemple, leurs corps biologiques sont composés de carbone qu'ils extraient de leur environnement, tandis que le processus de fermentation produit des gaz (comme le méthane) rejetés dans l'océan. Par l'effet tapis roulant, les gaz comme le méthane finissent par rejoindre l'atmosphère où ils contribuent à régler le thermostat planétaire sur « un peu plus chaud, s'il vous plaît ». Autrement dit, la vie organique et ses métabolismes biochimiques s'insèrent dans le monde minéral en le modifiant perpétuellement.

Le pari sur lequel repose la vie est donc précaire : il s'agit de naître dans un milieu auquel on est parfaitement adapté, de le transformer en raison même du métabolisme de l'existence, avec le risque

[10] Source : Joseph Moran, *Les recettes d'un métabolisme originel*, in *La Recherche* n°564, pages 52-54.

un jour de n'être plus adapté au milieu ambiant trop transformé. C'est pourquoi vivre, quelque part, relève de l'art du funambule. Il faut pouvoir avancer sans chuter, et ce n'est pas une mince affaire.

Si nous associons aujourd'hui le mot funambule à des cordes tendues au-dessus du vide, les premiers peuples lilliputiens devaient exercer cet art d'avancer sans chuter quelque part au milieu des ténèbres. Ils avaient en effet une bonne raison de se méfier de la lumière solaire : à leur époque, l'atmosphère ne contenait aucun gaz susceptible de faire barrière aux rayons ultraviolets (voir infra, note de bas n°7) du Soleil. Or, si ces derniers frappent un être lilliputien sans protection, ils attaquent sa cellule pour y créer de graves dysfonctionnements mortels. À l'époque, la seule protection existante était liquide : l'eau constituait un barrage efficace contre les rayons ultraviolets mortels du Soleil. Raison pour laquelle, très vraisemblablement, les premiers vivants jouaient aux funambules de l'existence dans le monde sous-marin des ténèbres. C'est là qu'ils protégeaient, à l'abri des rayons ultraviolets, un précieux trésor caché derrière leur membrane cellulaire : leurs gènes. Autrement dit : la clé de leur constitution. Leur faculté à transmettre la vie. Mais aussi la chance de pouvoir évoluer et s'adapter sans cesse à un monde perpétuellement changeant.

L'évolution des espèces : un coffre antique et magique[11]

Parfois comprise érronément comme la sélection des meilleurs individus aptes à se reproduire, la théorie de l'évolution des espèces est l'une de ces découvertes scientifiques qui a bouleversé la manière de comprendre le monde sur un point essentiel : d'où venons-nous ?

À l'époque où Charles Darwin (1809-1882) et Alfred Russel Wallace (1823-1913) ont simultanément l'idée d'une origine commune des êtres vivants, en expliquant que leur incroyable diversité résulte d'évolutions graduelles entraînant des différences de plus en plus grandes au fil du temps. La génétique est encore une discipline inconnue. Les microscopes du XIX^{e} siècle permettent tout juste à Louis Pasteur (1822-1895) et Robert Koch (1843-1910) d'identifier des microorganismes dotés d'une seule cellule (les bactéries), mais pas encore de découvrir des unicellulaires encore plus petits (les virus)[12]. Or, bactéries et virus jouent un rôle essentiel dans l'évolution des espèces.

Prenons les virus : on pense qu'ils sont présents sur la planète depuis 4 milliards d'années environ. Cela en fait de bons candidats au titre de premiers habitants de l'océan primitif. Seulement voilà : ces êtres étranges sont des parasites aux comportements bizarres. Tant qu'ils n'ont pas trouvé une cellule vivante pour les accueillir, ils sont inertes et semblent aussi morts que Blanche-Neige attendant le baiser du Prince Charmant. Mais qu'une cellule-hôte se présente à eux, et les voilà qui s'éveillent : pour peu qu'ils parviennent à l'intérieur, ils prennent les commandes en ordonnant à la cellule de « photocopier » à tout-va leur code génétique… de manière à produire de nombreux clones d'eux-mêmes. Si la cellule infectée s'exécute, tant pis pour elle : elle risque non seulement d'en mourir, mais se met aussi à abriter une meute de petits virus prêts à se lancer à l'assaut de cellules voisines pour y recommencer leur « jeu de la photocopieuse ». Avec un tel système de reproduction où le code génétique est reproduit à

[11] Ce chapitre s'inspire notamment de Carl Zimmer, *Introduction à l'évolution des espèces (ce merveilleux bricolage)*, 2012 (1ère édition originale : 2010), Bruxelles, éditions De Boeck & Larcier.
[12] Annick Perrot & Maxime Schwartz proposent une plongée dans cet univers passionnant avec leur livre *Pasteur et Koch (un duel de géants dans le monde des microbes)*, Paris, éditions Odile Jacob, 2014.

l'identique, les virus ne devraient pas connaître de modifications génétiques. Et pourtant, comme nous le savons avec le Coronavirus et ses nombreux variants, non seulement les virus évoluent mais ils le font de surcroît très rapidement.

Prenons à présent les bactéries : tout comme leurs cousines les archées[13], ce sont de bonnes candidates au titre de premières habitantes de l'océan primitif. Encore aujourd'hui, certaines d'entre elles font partie des peuples microbiens qui trouvent leur bonheur à proximité des cheminées volcaniques sous-marines, où elles se régalent de l'abondance des sels minéraux et se félicitent de pouvoir fermenter tranquillement sans avoir à craindre la présence d'un élément toxique pour elle : l'oxygène. Pour se reproduire, les bactéries font appel à la duplication : une bactérie initiale se divise en deux clones, les deux clones à leur tour se divisent pour donner quatre cellules bactériennes, lesquelles vont se diviser à nouveau pour engendrer huit bactéries, et ainsi de suite… Là encore, comme les bactéries s'engendrent les unes les autres par duplication, leur code génétique n'est pas censé se modifier. Et pourtant, comme nous le rappelle notamment les lignées de bactéries qui ont appris à résister aux antibiotiques, ces petits être lilliputiens évoluent également.

Les raisons pour lesquelles les peuples microbiens évoluent sont multiples.

Tout d'abord, lors de la reproduction du code génétique microbien à l'identique, il peut arriver que des erreurs surviennent. Certaines de ces modifications seront néfastes au virus ou à la bactérie concernée qui n'y survivra pas, mais d'autres lui seront bénéfiques et l'aideront à proliférer pour créer une lignée mieux adaptée au monde environnant que la lignée précédente. (C'est exactement ce qui se passe en cette fin d'année 2021, pour le coronavirus, avec son contagieux variant Omicron).

Ensuite, le matériel génétique des êtres vivants a beau être enfermé à l'intérieur de leur cellule, il n'en est pas moins soumis aux influences extérieures. Ainsi, des expériences récentes tendent à montrer que des modifications chimiques du milieu (autrement dit, le fait de rencontrer différents peuples minéraux) provoquent en retour des changements dans les informations génétiques dont sont porteuses les bactéries[14]. Celles-ci pourraient donc évoluer différemment selon les entités minérales avec lesquelles elles interragissent. Certaines bactéries sont également capables de s'échanger du matériel génétique en entrant en contact les unes avec les autres.

Une autre influence extérieure sur la transmission des gènes nous est familière : la rencontre d'un ovule et d'un spermatozoïde, issus de deux êtres différents, qui transmettent à leur descendance un patrimoine génétique mixte. Une pratique sans doute aussi vieille que le monde puisqu'il arrive aussi aux virus de pratiquer le sexe viral : parfois, deux virus différents se retrouvent à infecter simultanément la même cellule (bactérienne, animale...) ; au moment de lancer leur « jeu de la photocopieuse », ces deux virus vont mélanger leurs gènes pour produire des « bébés » virus tenant partiellement des deux « parents ».

[13] Moins connues que les virus ou les bactéries, les archées sont également des microorganismes procaryotes unicellulaires. Proches des bactéries (avec lesquelles on les a longtemps confondues), les archées sont en fait l'une des premières bifurcations génétiques du vivant ayant conduit jusqu'à nous…

[14] Source : Philippe Nghe, *Sur la piste de l'évolution moléculaire*, in *La Recherche* n°564, pages 54-55.

Les virus ont encore un autre tour dans leur sac : parfois, au lieu d'infecter une cellule jusqu'à la tuer, ils préfèrent s'y installer en insérant leurs gènes au coeur du patrimoine génétique de la cellule infectée. Bien malgré lui, l'organisme-hôte se retrouve alors avec un ADN modifié… dont hériteront ses descendants. Le fait est loin d'être anodin : à titre d'exemple, on estime que 5 à 8 % du génome humain est d'origine virale ! Si la plupart de ces gènes viraux n'apportent aucun changement notable dans la vie de l'organisme-hôte, ils peuvent aussi lui être bénéfiques. Parfois, les modifications génétiques virales vont rendre possible une cohabitation harmonieuse entre le virus et son hôte (accordant à ce dernier une immunité naturelle). À d'autres occasions, la mutation génétique d'origine virale va carrément apporter à l'hôte un savoir-faire ou une faculté inédite. Par exemple, certains virus possèdent un gène capable de produire une protéine (la syncytine) qui leur permet de s'arrimer solidement à la cellule-hôte qu'ils prennent pour cible. Au cours de l'évolution, les virus ont transmis le gène, codant cette protéine, à d'autres vivants en les infectant. C'est notamment le cas des mammifères où cette protéine fait merveille à un moment crucial de l'existence : lorsqu'elles portent des bébés dans leur ventre, les mamans mammifères utilisent le gène viral pour produire la syncytine, qui va permettre aux cellules extérieures de leur placenta de fusionner. Devenu un solide rempart biologique, le placenta va ainsi protéger l'embryon contre les cellules immunitaires maternelles, susceptibles de l'identifier comme un intrus à éliminer vu qu'il est porteur d'un génome différent.[15]

Architectes du vivant

Comme on le voit, la vie actuelle doit beaucoup au passé. Ils ont beau être modestes, insignifiants ou irritants à nos yeux, les peuples microbiens sont les pionniers de l'existence. Ce sont également nos plus lointains ancêtres. Et les premiers à avoir ouvert le coffre antique de l'évolution des espèces, où ils ont puisé moult évolutions génétiques aux airs de passe-passe magique. En migrant d'un organisme à un autre, ils ont répandu certaines de leurs facultés et prouesses à d'autres vivants. Certes avec des issues fatales, car ces parasites sont souvent pathogènes (comme nous le rappelle le coronavirus). Mais aussi avec le meilleur à la clé, quand ils jouent au chauffeur de taxi transportant des gènes bénéfiques entre membres d'une même espèce, ou d'une espèce à l'autre.

Des milliards d'années avant que nous apparaissions, les peuples lilliputiens ont été les premiers à bâtir des communautés bigarrées composées de populations microbiennes cosmopolites, comme l'est la flore intestinale de notre estomac par exemple. Ce sont également les êtres microscopiques qui ont forgé la brique élémentaire qui nous constitue : les cellules eucaryotes dotées d'un noyau. Autant dire que les peuples microbiens sont les architectes fondamentaux de tout organisme complexe, nous compris ! Invisibles à l'œil nu, présents partout, capables du meilleur comme du pire, les peuples lilliputiens sont (si on veut bien y réfléchir un instant) ce qui s'approche le plus d'une vision scientifique d'un Dieu universel, intemporel et créateur de toutes choses. À un détail près : les architectes microbiens ne sont pas bons ou maléfiques mais profondément ambivalents, pouvant aussi bien endosser le rôle de démons exterminateurs que d'anges bienveillants.

Dès qu'ils sont apparus, la vie primitive s'est mise à innover pour fabriquer des différences et de la complémentarité. Des différences avec une profusion d'espèces microscopiques se nourrissant de

[15] Source : Marc-André Selosse, *Petites histoires naturelles (Chroniques de La Terre au carré)*, Arles, éditions Actes Sud/France Inter, 2021, pages 104-107.

minéraux dans l'obscurité pour créer un nouveau composant : leur corps fait de matière organique. De la complémentarité car ces matières organiques ont très vite suscité l'appétit de nouvelles espèces microbiennes. Certaines bactéries sont ainsi devenues chimio-organotrophes en optant pour un régime alimentaire à base de matières carbonées mortes (jouant ainsi un rôle de recyclage). D'autres, plus impatients, n'ont pas voulu attendre la mort des vivants autours d'eux : elles les ont dévorées crues, inventant au passage l'art de la prédation.

C'est ainsi que sont nés les premiers écosystèmes, que l'on peut qualifier de collectifs fondamentaux inter-espèces servant de racines élémentaires à l'ensemble des vivants. Tranchez-les, et le monde se meurt… Dès l'aube de la vie, les écosystèmes unissent dans une boucle d'interdépendances les minéraux et leurs « prédateurs », les espèces lilliputiennes friandes de matière organique et les virus capables de les infecter, tout ce petit monde interagissant en tirant parti de ses voisins pour faire proliférer les peuples microbiens en inventant toujours plus de manières d'être vivant (pour reprendre le joli titre d'un livre signé Baptiste Morizot).

Chemin faisant, la vie funambule tisse des liens entre vivants qui s'entrelacent au minéral, et deviennent dépendants les uns des autres comme l'est le maillage du fil d'une toile d'araignée. En définitive, les individus qui transmettent leurs gènes et les espèces qui survivent ne sont pas les meilleures dans l'absolu, mais bien ceux et celles capables de s'adapter aux contraintes imposées par les peuples minéraux (température, pression, composition chimique du milieu) tout en trouvant simultanément une place complémentaire au sein des autres vivants (aucun être ne pouvant subsister sans liens avec autrui). Et comme rien n'est figé dans le temps, les *success stories* sont relatives : une espèce peut prospérer et s'épanouir durant des millions d'années, rien ne garantit qu'elle saura s'adapter aux multiples changements écosystémiques - qu'ils soient lents et graduels ou soudains et brutaux. Car la vie, en dansant avec le minéral, n'est pas à l'abri de faux pas catastrophiques.

La photosynthèse : une danse tragique avec le minéral[16]

Alors que les premières bactéries ont vraisemblablement prospéré dans de sombres milieux marins, certaines d'entre elles ont un jour reçu en cadeau une étrange mutation génétique : désormais, elles pouvaient différencier la luminosité des ténèbres. Cette nouvelle faculté fut mise à contribution pour bricoler un régime alimentaire détonnant : la photosynthèse. Puisant toujours des sels minéraux alentours, les bactéries dites phototrophes (ou cyanobactéries) utilisent la lumière du Soleil comme source d'énergie pour se construire et exister. Une méthode qui leur a sans doute permis d'explorer et de conquérir de nouveaux territoires, comme les environnements marins peu profonds éclairés par la lumière du jour. Mais leur manière de vivre a aussi révolutionné la vie terrestre, par ses implications sur le monde minéral.

Si la photosynthèse peut fonctionner sur des modalités chimiques différentes, l'une d'entre elles consiste à puiser le gaz carbonique dissous dans l'eau pour produire un déchet particulier : de l'oxygène. Parler de déchet n'est pas exagéré : au moment où cette innovation bactérienne intervient (il y a

[16] Source principale pour ce chapitre : Paul Mathis, *op. cit.*, pages 59-69 et 77-86.

plusieurs milliards d'années[17]), l'oxygène ne manque à personne car tous les peuples lilliputiens sont nés et ont appris à vivre dans des milieux anoxiques (sans oxygène). Pour la plupart d'entre eux, l'oxygène est même toxique ! Mais comme les cyanobactéries prospèrent, elles transforment la composition des peuples minéraux solubles dans l'eau en y raréfiant la population de CO_2 pour augmenter la démographie des molécules d'oxygène.

Très réactive, l'entité minérale oxygène se met alors à interagir avec ce qui l'entoure.

L'oxygène a tout d'abord réagi avec le corps des microorganismes morts, en « mélangeant » leur carbone organique avec les sédiments rocheux du fond de l'océan… provoquant ainsi une fusion posthume des êtres lilliputiens avec le monde minéral. (Une réalité qui malmène nos représentations modernes cloisonnant le minéral, le végétal et l'animal dans des tiroirs distincts). Cette danse macabre entre cadavres organiques et roches sédimenteuses a ralenti un certain temps la prolifération de l'oxygène dans l'océan, puisque ce dernier se dégradait en « décomposant » les cadavres organiques.

Malgré tout, il restait assez d'oxygène (produit par les cyanobactéries) pour réagir avec les métaux solubles abondant alors dans l'océan. Là encore, l'oxygène se dégrade et ralentit sa prolifération en transformant le fer ferreux soluble en un métal solide… qui coule au fond de l'océan où il s'accumule en couches rocheuses superposées. Des milliards d'années plus tard, lorsque la Révolution industrielle frappera aux portes de l'Europe, les humains seront tout heureux d'avoir à leur disposition ces couches rocheuses antiques contenant 90% de tout le fer utilisé par la sidérurgie ![18] Sans les interactions passées entre cyanobactéries et monde minéral aquatique, nombres d'objets familiers et d'infrastructures que nous utilisons au quotidien n'existeraient donc pas ! En rejetant de l'oxygène dans l'eau, les cyanobactéries ont vidé les océans du métal soluble qui abondait pour le transformer en gisements solides qui ont changé la face du monde, à commencer par la composition chimique des milieux marins[19].

N'ayant plus (ou moins) de métaux solubles avec lesquels réagir, les molécules d'oxygène ont commencé à s'accumuler dans l'eau. Par l'effet tapis roulant, elles sont alors passées dans l'atmosphère. Ce phénomène, appelé la Grande Oxydation, se déroule il y a environ 2,4 milliards d'années sur une période approximative de 300 millions d'années. Pour les nombreuses espèces océaniques strictement anaérobies (devant vivre dans des milieux sans oxygène), c'est une catastrophe ! Certaines d'entre elles ont cherché refuge dans des lieux où l'oxygène n'arrivait pas. (Comme c'est encore le cas, de nos jours, pour les archées et bactéries productrices de méthane vivant sous le permafrost). D'autres ont pu trouver, dans le coffre magique de l'évolution, une parade biologique pour s'adapter à ce changement. Quant à celles qui n'ont pu trouver de solution à temps, elles ont connu un sort tragique : l'extinction. Une extinction massive d'espèces qui fut sans doute la toute première de l'histoire, même si elle n'est jamais recensée dans le catalogue officiel des grandes extinctions passées. Pourtant, au-delà du sort des peuples lilliputiens décimés par cette modification chimique de l'océan, leur disparition brisa une partie vitale du fil de la toile d'araignée reliant tous les vivants. L'onde de choc qui en résulta, par l'effet tapis roulant et la valse avec le monde minéral, accoucha d'un autre drame où la vie funambule perdit pied et tomba de haut.

[17] Les estimations varient dans une fourchette allant de 3,5 milliards à 2,5 milliards d'années.
[18] Pour rappel, une grande partie du fer présent lors de la formation de notre planète a migré vers le centre de la Terre pour y constituer le noyau, aussi solide qu'inaccessible.
[19] Source : Paul Mathis, *op. cit.*, pages 71-75.

En disparaissant massivement, les bactéries utilisant la fermentation comme métabolisme cessèrent également de produire du gaz carbonique ou du méthane. Or, ces deux entités minérales sont des gaz à effet de serre qui - en retenant captive sur Terre une partie de la chaleur solaire - constituent un rouage essentiel du thermostat planétaire (cfr. supra). Par l'effet tapis roulant, la chute démographique de leurs effectifs dans l'océan finit par se répercuter dans l'atmosphère, où le taux de méthane se mit à chuter il y a environ 2,4 milliards d'années. Pour rappel, le Soleil était alors moins chaleureux qu'aujourd'hui, et le passage du thermostat planétaire en mode « froid » eut une conséquence terrible : la planète toute entière se transforma en une immense boule de neige. A l'exception peut-être de la bande équatoriale davantage exposée au Soleil, un vaste manteau blanc prit possession de tout l'espace disponible, emprisonnant aussi bien les terres émergées que les océans dans leur étau de glace. Pour les cyanobactéries ayant besoin de lumière pour vivre, ce fut un terrible retour de bâton : l'oxygène produit massivement par leurs ancêtres venait de figer le monde minéral en théâtre blanc ! Ce dernier ne laissant plus passer la lumière solaire qu'en de rares lieux d'exil, tout le reste de la planète leur était devenu un territoire hostile[20]. D'après le microbiologiste Marc-André Selosse, la « production de matière organique par la photosynthèse chuta d'au moins 80 % et resta basse pendant un milliard d'années ! »[21]

Voilà comment la toile d'araignée, effilochée par une première extinction (les microorganismes anaérobiques), se déchira brutalement pour laisser la vie funambule dans un équilibre précaire au-dessus du néant. Gravons-le en bonne place dans notre esprit : ce sont nos inertes *matières premières* et autres *ressources naturelles* qui furent les actrices principales de ce drame. Dont nous pourrions tirer au moins un enseignement : loin d'être l'arrière-décor passif que nous nous plaisons à imaginer, les peuples minéraux sont des acteurs majeurs de l'histoire. Non seulement la vie n'existerait pas sans eux, mais leurs mutations peuvent métamorphoser une planète accueillante en un monde funeste et dangereux. Et quand ils le font, cela dure longtemps. La Terre « boule de neige » fut une réalité qui dura approximativement… trois cent millions d'années ! Une éternité pour les vivants, mais un battement de paupières pour le monde minéral. Depuis les entrailles de la Terre, loin sous le manteau blanc, ce dernier continua sa cuisine incandescente à plusieurs milliers de degrés en liquéfiant des roches, en produisant des gaz, en provoquant des éruptions volcaniques qui allaient rendre progressivement à l'atmosphère suffisamment de gaz à effet de serre pour relancer le thermostat planétaire en mode : « un peu plus chaud s'il vous plaît » !

Après cette longue halte glacée, le monde microbien repartit de l'avant. Porté par l'évolution, il inventa la vie en communauté, créa les cellules eucaryotes dotées d'un noyau et trouva même une nouvelle fonction à l'oxygène : celui-ci pouvait être respiré pour puiser de l'énergie en rejetant un déchet nommé gaz carbonique. Une manière originale de contrebalancer la valse minérale de la photosynthèse qui procède exactement en sens inverse (utilisation de gaz carbonique pour rejeter de l'oxygène). Ce savoir-faire inédit, des êtres lilliputiens (qu'on a longtemps appelés mitochondries en ignorant qu'il s'agissait

[20] L'histoire narrée ici simplifie une réalité plus complexe, car les causes du grand refroidissement étaient sans doute multiples. Si l'oxygène y joua un rôle certain comme expliqué dans ce paragraphe, les scientifiques soupçonnent également d'autres facteurs comme : la formation des premiers continents qui ont modifié la capacité de réflexion solaire (l'effet albédo) de la planète ; l'explosion d'un super volcan (ou un volcanisme plus diffus mais très intensif) qui aurait encombré l'atmosphère de poussières faisant écran et empêchant la lumière solaire de passer ; ou bien encore le passage d'un nuage stellaire dans notre système solaire qui aurait également fait écran entre notre planète et le Soleil. Pour plus de détails à ce sujet, lire par exemple Pascal Acot, *Histoire du climat*, Paris, éditions Perrin (collection *Tempus*), 2009.

[21] Source : Marc-André Selosse, *op. cit.*, page 73.

de bactéries) décidèrent de le partager en s'installant à demeure dans les cellules d'organismes multicellulaires auxquels ils permirent de respirer, et donc d'exister : les animaux[22].

Les éponges : des animaux-frontières

Bien avant d'entrer dans notre langage courant pour devenir un résident familier de notre vocabulaire, animal (ou *animalis*) fut à l'origine un mot latin utilisé entre savants de l'époque médiévale pour désigner tout « être vivant mobile, doté du souffle vital ou *anima* »[23]. Pourtant, lorsque les premiers animaux apparaissent il y a quelques 635 millions d'années (une estimation faite à la grosse louche[24]), ils sont à la fois modestes, rudimentaires et peu mobiles. Gravés dans les minéraux avec lesquels ils ont fusionné, leurs fossiles calcaires prennent des formes bizarres et étonnantes, comme surgies d'un autre monde. Toutefois, certains d'entre eux s'apparentent à des animaux contemporains familiers de nos cuisines et salles de bain pour l'usage que nous faisons de leur cadavre : les éponges.

Constituées d'organes non différenciés, les éponges en vie épousent des formes variées (en globes, lobes, tubes et même plates) et s'ancrent sur le fond marin à l'aide d'un pied fixe. Par conséquent, les éponges sont des créatures immobiles. Dotées de canaux, elles y font circuler l'eau environnante pour y puiser - à l'aide de filaments filtrants - les nutriments qui les sustentent : bactéries et algues unicellulaires composant le phytoplancton, ainsi que divers détritus de matières organiques en décomposition. Les éponges contemporaines suivent donc des régimes alimentaires variés : microphages (mangeuses de microbes), « herbivores » et nécrophages. Avec l'apparition des premiers animaux se nourrissant de phytoplancton bactérien, divers changements surviennent. Tout d'abord, en prospérant sur les fonds marins, certaines espèces (comme les éponges ou les coraux) offrent un habitat précieux à d'autres espèces. Même s'il s'agit de redoutables prédateurs pour les algues et bactéries piégées dans leurs filaments, les premiers animaux habitant les fonds marins sont donc également des logements confortables, offrant de nombreuses cachettes et refuges où s'abriter mais aussi de quoi manger à d'autres vivants.

Pour certaines éponges, la vie passe ainsi par une symbiose avec les bactéries qui les nourrissent. C'est le cas de l'éponge pierre, nommée ainsi en raison de sa consistance très dure : sa surface sert d'abri protecteur à des bactéries phototrophes qui y prolifèrent en captant la lumière du jour, l'éponge pierre prélevant son dû en dévorant une partie des bactéries qui la colonisent. D'autres espèces animales antiques (comme les coraux ou certaines méduses) utilisent le même stratagème en vivant en symbiose avec des algues marines, dont une partie est sacrifiée pour sustenter leur hôte. Ainsi, pour favoriser la photosynthèse et la prolifération des algues zooxanthelles qu'elles hébergent dans leurs bras, les méduses *Cassiopea* se placent souvent tête en bas et bras en direction de la surface afin d'orienter les

[22] Je ne m'attarde pas sur ce point, conté par Marc-André Selosse dans son livre *Jamais seul (ces microbes qui construisent les plantes, les animaux et les civilisations)*, Arles, éditions Actes Sud, 2019 (1ère édition : 2017), pages 199-222.
[23] Source : Alain Rey, *op. cit.*, tome 1, p.88.
[24] Suivant le chemin inverse du Titanic construit sur la terre ferme pour finir sa vie à l'état d'épave par 3.800 mètres de fond, les premiers animaux connus sont nés et morts sur le plancher marin (probablement à de faibles profondeurs) pour ensuite migrer - par le jeu de la tectonique des plaques soulevant les montagnes - à l'air libre, en surface. Et plus particulièrement sur des sites comme Doushantuo en Chine (avec des strates archéologiques vieilles de 635 à 542 millions d'années) ou les collines Ediacara en Australie (où les strates archéologiques remontent de 575 à 542 millions d'années). C'est là que les plus anciens animaux connus ont laissé leur empreinte imprégnée dans la roche.

algues vers la lumière du jour. En échange de ce service, la méduse prélève une partie de ses ressources nutritives chez les zooxanthelles[25].

Même s'il faut y regarder à deux fois pour le comprendre - et suspendre au passage nos préjugés simplistes sur les êtres primitifs tels qu'éponges, méduses et autres microbes -, il s'agit là de la plus ancienne forme connue d'élevage agricole ! En effet, les animaux cités (éponges pierre, coraux, méduses Cassiopea) transforment leur corps en ferme d'élevage microbien ou végétal, pour ensuite prélever une partie du cheptel lilliputien et s'en nourrir. Par un clin d'œil dont l'histoire biologique a le secret, c'est exactement de cette manière que vit l'une des plus célèbres ruminantes connue des humains : la vache. Souvent qualifiée d'herbivore, la vache passe des heures à broyer et mâcher des végétaux non pour s'en nourrir directement, mais pour les rendre digestibles aux peuples microbiens et champignons installés à demeure dans son rumen (le premier estomac de la vache). Dans ce lieu opaque qui leur sert d'habitat, ces microorganismes produisent d'indispensables vitamines ainsi que « 1 à 3 kilos de protéines par jour qui sont finalement digérés par la vache », lorsque celle-ci ingère une partie des microbes qu'elle nourrit et élève en son rumen[26].

Ainsi, par-delà les centaines de millions d'années qui séparent l'apparition des premiers animaux dits rudimentaires de l'arrivée des mammifères ruminants, un même mécanisme est à l'œuvre dans le coffre antique de l'évolution biologique : la cohabitation incessante d'espèces ayant besoin l'une de l'autre pour vivre. Encore de nos jours, le corail menacé par des bactéries pathogènes peut compter sur les virus pour parasiter les bactéries et enrayer leur prolifération, comme l'explique le biologiste Andreas Haas : « Dans un récif de corail, les virus ont pour fonction de maîtriser autant que possible la prolifération des bactéries. Si le récif est en bonne santé, on va compter entre 500.000 et 1 million de bactéries par millilitre d'eau, et dix fois plus de virus en circulation. »[27]

À rebours des cloisons hermétiques dans lesquelles nous adorons classer les vivants (afin de nous placer tout en haut du podium), les écosystèmes se plaisent à brouiller nos frontières idéologiques et identitaires. C'est aussi le cas des éponges qui semblent parfois à cheval entre deux mondes : le monde des peuples microbiens qui les ont précédées dans la longue histoire du vivant, et le monde des nombreux animaux dits évolués qui vont apparaître à leur suite. Même si le terme n'est pas très orthodoxe dans le jargon de la biologie scientifique, on peut dire des éponges (et des méduses, et du corail…) qu'il s'agit d'animaux frontières. Ce sont des organismes aventuriers, presque hybrides, déployant leur existence sur base d'expériences microbiennes et végétales qui ont fait leur preuve par le passé, tout en bricolant de nouveaux processus biologiques parfois appelés à un brillant avenir.

Il en est ainsi notamment pour la reproduction. À l'instar des bactéries qui les précèdent dans l'évolution, les éponges sont capables de se reproduire en dupliquant leur corps pour donner vie à deux éponges jumelles grandissant côte à côte, formant avec le temps un « individu-colonie » en expansion continue (tant que le terrain lui est favorable). Mais devançant d'innombrables espèces animales, les éponges recourent aussi à la reproduction sexuée : une éponge bisexuelle produit un ovocyte qu'elle conserve en elle, ainsi que de nombreux spermatozoïdes qu'elle relâche dans le courant… espérant que

[25] Source : Rafaële Brullaud, *Et voici les animaux mangeurs de lumière*, article publié sur le site de *Sciences & Vie* en 2011, puis mis à jour le 29 juin 2020. Les pages wikipédia consacrées aux animaux cités (éponges, *éponge pierre*, coraux et méduse *Cassiopea*) ont également été consultées.
[26] Selosse, *op. cit.*, 2019, pages 89 à 106.
[27] Source : film documentaire de Kurt Langbein & Florian Höllerl, *Les virus et nous*, Allemagne, Arte, 2021.

les eaux conduiront quelques-uns de ces spermatozoïdes à rencontrer une autre éponge pour y féconder l'ovocyte. Devenu œuf fertile, celui-ci abrite alors une larve qui grandira dans le corps parental jusqu'à sa maturité, avant d'être relâchée à l'extérieur pour être confiée au hasard des flots.

La structure des corps : ce que le présent doit au passé

Inévitablement, ce mode de reproduction par brassage génétique encourage les mutations et les innovations d'une génération de vivants à l'autre, créant ainsi une variété d'êtres et d'espèces singulières enrichissant la biodiversité animale. Qu'on parle d'éponges, de corail, de vers ou de méduses, les premiers animaux nous semblent plutôt rudimentaires. Pourtant, il s'agit là des bourgeonnement primordiaux d'un arbre tellement majestueux qu'il couvre aujourd'hui toute la planète, foisonnant de milliers de branches et de fourches abritant (comme autant de fruits) des millions d'espèces différentes. Aussi modestes soient-ils à nos yeux, les préludes primitifs de cette vaste odyssée ont composé des partitions (architecturales, comportementales et sensitives) dont la musique fredonne toujours en nous des centaines de millions d'années plus tard.

Pour s'en convaincre, intéressons-nous un instant à la structure des corps des premiers animaux. Si les éponges ne possèdent pas d'organes différenciés et peuvent épouser toutes sortes de formes sans véritable symétrie, il n'en va pas de même pour les cnidaires dont le corps inaugure une structure radiale (en rayons) qu'on retrouve de nos jours chez les anémones de mer, coraux, hydres et autres méduses… A leurs côtés, la biodiversité primitive donna également naissance à de petits vers marins dont la structurelle corporelle obéit à une architecture que nous connaissons bien : la symétrie bilatérale. Chez les bilatériens, des organes spécialisés se répartissent de façon presque identique de part et d'autre d'un axe gauche-droite du corps. Remontant à environ 575 millions d'années, ce schéma d'organisation bilatéral avait beau n'être alors qu'une modeste graine se résumant à un ver marin, cette graine a germé depuis pour accoucher d'une évolution foisonnante d'espèces, générant avec le temps une multitude d'organismes partageant tous un point commun : être doté d'un avant et d'un arrière, d'une bouche et d'un anus, d'un dos et d'un ventre, d'un thorax et d'un abdomen, d'une (ou plusieurs) paire d'yeux ainsi que de membres latéraux. Autant de caractéristiques nées il y a des centaines de millions d'années dans les fonds marins, et qui continuent de nous structurer aujourd'hui.

À la différence des cyanobactéries qui se contentent de sels minéraux et de lumière pour exister, les animaux se caractérisent depuis toujours par deux besoins vitaux : respirer de l'oxygène, et manger les chairs ou tissus appartenant à d'autres vivants. Il y a plusieurs centaines de millions d'années, le faible taux d'oxygène dans les océans limitait aussi bien la taille des animaux que l'énergie dont ils disposaient pour agir et se développer. Pourtant, il leur fallait trouver des proies à croquer (bactériennes, végétales, animales), car seuls les nécrophages avaient la patience d'attendre que le temps fasse son œuvre pour se repaître de charognes. L'émergence des premiers animaux transforme donc les milieux marins en théâtres récurrents d'un drame shakespearien qui consiste à ôter la vie d'autrui pour nourrir la sienne. Inaugurée par les microbes (prédateurs d'autres microbes), cette scène est rejouée sans fin par les animaux. Et coincés dans ce script cruel, nos ancêtres bilatériens ont puisé dans le coffre magique de l'évolution de nouvelles tenues et parures afin de s'en sortir au mieux face aux voisins.

Ainsi, les mollusques vont se doter d'une solide coquille calcaire pour se protéger : les nautiles y grandissent tout au long de leur vie, et s'aménagent de la place en construisant des alvéoles successives

de plus en plus grandes. Les arthropodes vont opter pour une solide cuirasse, difficile à percer, couvrant l'entièreté de leur corps ainsi que le font les premiers scorpions marins… sans doute les terreurs de leur époque. Enfin, les chordés misent sur une structure cartilagineuse interne pour se développer, comme les raies et les requins le font encore de nos jours. Avec le temps, cette structure cartilagineuse va se muer en squelette osseux des premiers poissons vertébrés, puis de leurs innombrables descendants parmi lesquels on recense notamment… les bipèdes humains.

En s'invitant parmi les vivants, les animaux marins accentuent et diversifient une danse écosystémique où des proies tentent d'échapper à leurs prédateurs. Un drame shakespearien qui ne serait pas complet sans le merveilleux frisson des rendez-vous galants, où mâles et femelles se rencontrent pour procréer. Qu'il s'agisse d'identifier des partenaires sexuels ou de localiser des proies, les animaux ont besoin de percevoir ce qui se passe autour d'eux. C'est pourquoi ils développent des sens particuliers adaptés à ce dessein.

Héritiers de savoirs passés

Une première forme de communication passe par la constitution d'organes capables d'émettre et de percevoir des ondes acoustiques (infrasons, sons et ultrasons[28]) qui se propagent particulièrement bien dans l'eau. Contrairement à la fameuse expression de Cousteau évoquant un monde silencieux, les mers et océans ont très tôt été le théâtre de communications sonores passant par des organes pas toujours très orthodoxes - en tout cas pour nos oreilles de bipèdes vertébrés… Ainsi, c'est leur anus qu'utilisent les harengs contemporains pour expulser des bulles de gaz sonores afin de communiquer avec leurs semblables[29]. De manière plus générale, les communications sonores sont plébiscitées par de nombreuses espèces marines, et servent même parfois d'ondes radars pour localiser des obstacles ou des proies.

La perception d'ondes électriques est un second système de communication né dans les milieux aquatiques. Si peu d'espèces sont capables d'émettre volontairement de tels signaux, nombre d'animaux marins sont équipés d'organes pour les percevoir. Par exemple, c'est grâce aux ampoules de Lorenzini logées dans leur épiderme que raies et requins perçoivent les signaux électriques présents autour d'eux. Les requins à pointes blanches s'en servent pour repérer et chasser des proies en sondant le corail à l'aide de cellules électro-réceptives, sensibles aux quelques millionièmes de volts émis par les battements de cœur affolés de poissons terrifiés par l'approche de squales furetant autour d'eux. Les ondes électriques sont également utilisées par certaines espèces marines pour se géolocaliser par rapport au pôle magnétique terrestre, et pouvoir ainsi s'orienter dans l'espace marin. Dans des cas plus rares, les ondes électriques sont utilisés pour communiquer en émettant de faibles décharges porteuses de sens pour qui sait les comprendre : on pense que les poissons-couteaux électriques font part de leur

[28] Cette distinction est basée sur les standards biologiques de notre espèce : les sons renvoient en effet aux ondes sonores émises sur des fréquences que nous sommes capables de percevoir (entre 20 Hz et 20kHz), les infrasons étant situés en-dessous de cette limite et les ultrasons au-dessus. Bien entendu, certaines espèces animales sont capables de percevoir les sons et ultrasons.

[29] Source : Darmaillacq Anne-sophie & Lévy Frédéric, *Éthologie animale (une approche biologique du comportement)*, Louvain-La-Neuve, 2020 (1ère édition 2019), p.135.

rang (plus ou moins dominant) en lançant un nombre de décharges électriques étroitement lié au statut social de chacun d'eux[30].

Promise à un grand succès, la réception et la perception d'émissions chimiques est un autre moyen d'échanger des messages à portée symbolique. En 2015, un collectif de chercheurs a ainsi découvert que le poisson mâle des marais (nommé *Kryptolebias marmoratus*) utilisait un système de lecture chimique pour décrypter, dans les phéromones présentes autour de lui, l'éventuelle présence d'un autre mâle et sonder ses intentions. En effet, des comportements et émotions différentes (agressivité, peur, défense d'un territoire, envie de se reproduire) génèrent également des hormones différenciées, modifiant ainsi la composition des effluves chimiques (comme l'urine) relâchées par chaque poisson dans l'eau pour informer les « voisins » de ses projets et de son humeur du moment.

Le sens du toucher s'est également développé très tôt. Ainsi, les poissons sont généralement dotés d'un système sensoriel fait de cellules spécifiques - souvent concentrées sur une partie du corps nommée ligne latérale - qui captent et ressentent les vibrations mécaniques de l'eau. Qu'elles soient dues à un relief sous-marin ou à la présence d'autres vivants nageant à proximité, les variations ressenties par les mouvements de l'eau - variations plus ou moins fortes, plus ou moins rapides, plus ou moins stables selon l'obstacle ou l'être vivant concerné - peuvent être interprétées pour imaginer ce qui se trame autour de soi. Dans un monde animal où l'on s'entredévore, ce sens du toucher « à distance » s'avère crucial que ce soit pour chasser une proie ou fuir un prédateur. Le sens du toucher est également utilisé pour se coordonner au sein des collectifs organisés que sont les bancs de poissons, où des milliers (voire des millions) de membres parviennent à synchroniser parfaitement leurs mouvements pour nager - et ondoyer, et se retourner, et valser de concert - grâce à une perception rapide et subtile des déplacements de leurs voisins dans l'eau.

Enfin, la vue chez les animaux est aussi née en territoire marin. Certaines hypothèses scientifiques évoquent un transfert horizontal sous forme de migrations de bactéries sensibles à la lumière, présentes à l'origine dans des plantes aquatiques avant de s'expatrier vers des méduses pour leur offrir une vision rudimentaire. Les méduses seraient tout au plus capables (pense-t-on) de dissocier les jeux d'ombre et de lumière. En soi, c'est déjà mieux que rien pour se situer dans l'espace marin ou temporel (éclat intense du Soleil, brillance feutrée de la Lune, luminosité variant avec la profondeur des eaux, les moments de l'année, la météo…). Mais c'est surtout bien pratique pour repérer à temps un prédateur en approche, sous la forme d'une ombre massive se mouvant au-dessus de soi. Avec le temps, la vue va se complexifier en suivant différents chemins évolutifs : les arthropodes marins vont se doter d'yeux composés de multiples facettes offrant une vision panoramique bien qu'assez floue[31] ; les vertébrés aquatiques vont opter pour une vue camérulaire restreignant leur champ de vision mais permettant une identification plus précise des formes[32].

[30] Sources : *Ibid.*, p.131 & Source : documentaire de Steve Greenwood, *Dans le sillage des requins (épisode 1 : les prédateurs)*, coproduit par BBC & Discovery Channel en association avec Arte France (Unité Découverte et Connaissances), 2015.

[31] Certaines crevettes vivant à proximité de sources hydrothermales possèdent des yeux à facettes programmés pour percevoir l'infra-rouge, et ne pas s'ennuyer avec notre lumière visible qui ne les aiderait pas à trouver ce qu'elles cherchent : des cheminées sous-marines volcaniques.

[32] Source : Kazuki Ueda et Yoshio Yuki, *Un grand pas pour l'évolution (épisode : La vue)*, un film-documentaire coproduit par NHK, France Télévisions et Curiosity Stream (avec la participation de NVT), 2016.

Bien sûr, un tel cadeau issu du coffre magique de l'évolution des espèces est aussi mis à profit pour communiquer de façon visuelle. Ainsi, les requins blancs contemporains amenés à se croiser usent d'un langage diplomatique pour signifier qu'ils ne représentent pas une menace : nageant l'un vers l'autre sans découvrir la pointe intérieure noire de leurs nageoires (ce qui serai un signe d'animosité), ils changent ensuite brusquement de direction pour s'éviter[33]. Toutefois, les véritables maîtres en matière de communications et d'illusions visuelles sont assurément les céphalopodes (calmars, poulpes et seiches) qui vont nous accompagner pour illustrer cet autre ingrédient conçu au fond des océans : des comportements adaptés et franchement ingénieux pour faire face à un monde périlleux.

Déroutants, inventifs et surprenants[34]

A priori, les mollusques n'ont guère de qualités pour susciter notre admiration. D'aucuns s'enthousiasment à la limite pour les escargots frits à l'ail, mais de là à admirer ces corps baveux et gluants, il y a un pas (voire des années-lumière) que beaucoup d'entre nous ne franchiraient pas. Pourtant, au fond des mers, il y a de cela plus de 250 millions d'années, les mollusques ont donné naissance à des êtres étonnants : les céphalopodes… mieux connus sous le nom de calmars, seiches et autres poulpes. Alors que leurs ancêtres vivaient à l'abri d'une solide coquille calcaire, les céphalopodes ont fait le pari de couvrir cette coquille d'un corps mou et élastique nommé manteau.

Un tel choix semble risqué face à des prédateurs armés de dents redoutables. Pourtant, les céphalopodes sont loin d'être sans défense. Les seiches sont ainsi connues pour leur capacité à produire un nuage d'encre opaque, destiné à désorienter l'ennemi lorsqu'elles cherchent à fuir un danger. Quant aux pieuvres qui auraient la malchance de se faire croquer un tentacule, elles peuvent compter sur le don de régénérescence pour le faire repousser ! Par ailleurs, les céphalopodes comptent dans leurs rangs des virtuoses de la bioluminescence, capables de jeux de couleurs corporelles à faire passer les caméléons pour de gentils amateurs du dimanche. Mieux encore : certains céphalopodes sont dotés de muscles modifiant à volonté l'apparence extérieure de leur manteau, pour leur permettre de se fondre plus facilement dans le décor.

La pieuvre mimétique est une championne en la matière. Découverte il y a une vingtaine d'années dans les mers tropicales d'Asie du sud-est, cette pieuvre contorsionniste change la couleur de sa peau et modifie la forme de son corps dans un dessein précis : ressembler autant que faire se peut à d'autres espèces vivantes. Une faculté d'imitation qui va au-delà de la seule apparence physique, car la pieuvre mimétique pousse ses dons de comédienne jusqu'à reproduire les mouvements et modes de déplacements de la quinzaine d'espèces qu'elle est capable d'imiter. En quelques secondes, elle peut ainsi ressembler (selon les besoins du moment) à des êtres aussi différents qu'un serpent de mer ou une rascasse volante (deux animaux venimeux), une crevette ou une ophiure (une sorte d'étoile de mer indigeste), une raie ou un crabe, une méduse ou un coquillage ainsi qu'à différents poissons… Une prouesse qui n'est pas purement physique ou biologique, mais aussi la preuve d'une intelligence combinant plusieurs facultés : observation préalable des êtres vivants pris en modèle, mémorisation de leur apparence et de leurs comportements, puis mise en pratique de la métamorphose grâce à une maîtrise corporelle sans pareille.

[33] Source : DLSDR2

[34] Sources : Roger Hanlon, Mike Vecchione & Louise Allcok, *Poulpes, seiches & calmars (biologie-comportement-espèces remarquables)*, éditions Ulmer, 2019 (1ère édition originale : 2018) ; Bertrand Loyer, *Céphalopodes, le règne des ventouses*, film documentaire produit par Saint Thomas Production & Arte G.E.I.E., 2020.

Il faut dire qu'en matière de cerveaux, les pieuvres sont plutôt bien servies : comme nous, elles en possèdent un dans la tête… mais également un supplémentaire dans chacun de leurs huit tentacules où se concentrent l'essentiel de leurs réseaux neuronaux. Faisons les comptes : une tête et huit tentacules font un total de neuf cerveaux ! En captivité, les pieuvres montrent ainsi de grands talents cognitifs pour résoudre diverses énigmes et casse-têtes de briques de plastique, à l'intérieur desquels les humains ont caché de la nourriture. Leurs prouesses intellectuelles sont également attestées en liberté, où les pieuvres noix de coco se montrent ingénieuses pour se protéger des prédateurs quand elles arpentent des fonds sablonneux sans végétation où se cacher. Pour se mouvoir en étant protégées, les pieuvres noix de coco font usage d'outils en emménageant dans différents objets adaptés qu'elles trouvent à portée de tentacule (comme des coques de noix de coco coupées en deux ou des boites de conserve abandonnées) pour s'offrir, tel un escargot, une maison faisant office de bouclier de protection.

Bioluminescence, multiples cerveaux pour contrôler leurs huit tentacules et leurs centaines de ventouses, membres arrachés qui repoussent, capacité à résoudre des casse-têtes, facultés hors-norme d'imitation… Pas de doute : les céphalopodes ont exploré avec efficience et originalité les multiples possibilités offertes par l'évolution biologique des espèces. Les pieuvres sont championnes de l'esquive, reines de la furtivité, contortionnistes hors-pair, caméléons avant l'heure, ainsi que de parfaites actrices n'ayant rien à envier aux personnages les plus délirants de Shakespeare. D'ailleurs, au moment de jouer les Roméo et Juliette, les calmars de récifs à grandes nageoires savent sortir le grand jeu dans une séduction haute en couleurs.

Leur premier pas consiste à rendre leur corps partiellement translucide pour dévoiler leurs glandes sexuelles situées à l'intérieur du bas-ventre, afin de prouver aux partenaires potentiels qu'ils et qu'elles ont atteint l'âge de se reproduire. Disposant d'un répertoire de vingt-sept couleurs et textures différentes, capables de surcroît d'en changer plusieurs fois par seconde, les mâles font alors le second pas en déployant sur leur peau des jeux de lumière qui rassurent les femelles. Évidemment, ils sont rarement les seuls prétendants à rêver d'un rapport intime, et c'est par joute colorée que se règle l'essentiel du pugilat entre mâles rivaux. Pour impressionner la concurrence, les mâles s'envoient des flashs blancs intimidants. Ce langage coloré est si bien maîtrisé que les calmars mâles de récifs à grandes nageoires peuvent simultanément envoyer deux messages totalement opposés : d'un côté de leur corps, ils émettent des flashs argentés pour repousser les Roméo de pacotille ; de l'autre côté, ils déploient une livrée nuptiale couleur marron pour séduire la Juliette qui fait battre leur cœur. Dans cette histoire, c'est d'ailleurs Juliette qui aura le mot final en arborant (ou non) une couleur de manteau uniforme pour dire à un mâle qu'elle l'accepte (ou non) comme partenaire sexuel. S'il parvient à la séduire, Roméo devra monter la garde pendant que Juliette dépose les œufs fertilisés à un endroit où ils seront protégés (comme du corail venimeux, par exemple). Ensuite, chacun se quitte et part de son côté. Dans les jours et semaines qui suivront, les Juliette de récifs à grandes nageoires auront à cœur de séduire d'autres Roméo calmars, multipliant ainsi le patrimoine génétique du millier d'œufs qu'elles finiront par pondre, afin qu'éclose la prochaine génération de calmars de récifs à grandes nageoires.

Sortir des eaux

Ainsi, l'esprit de Shakespeare se promène sous les mers depuis longtemps. Mais aussi l'architecture de nos corps. Les sens que nous utilisons. Les capacités dont nous disposons. Les gènes que nous transmettons à nos enfants… Tout cela nous vient de loin. D'un lointain passé dont nous ne parlons jamais en société. Est-ce par manque de temps ? Parce qu'il y d'autres priorités ? Peut-être avons-nous peur de découvrir une histoire déstabilisante ? Une histoire où l'humain ne jouerait pas les premiers rôles, car elle commence souvent par « Il était une fois les microbes et le monde minéral… »

C'est encore ainsi que débute l'histoire des animaux marins qui voulurent un jour gagner la terre ferme. Durant longtemps, la chose fut impossible en raison des rayons ultraviolets du Soleil. S'y exposer (hors de l'écran protecteur offert par l'eau) revenait à se condamner à une mort certaine. Tout le monde resta donc sous l'eau. C'est là qu'un jour lointain des cyanobactéries pratiquant la photosynthèse se firent avaler par des cellules gloutonnes… Une indigestion s'ensuivit, laissant la vie sauve à une partie du repas. Les cyanobactéries rescapées passèrent un accord diplomatique avec leur prédateur : s'il fournissait des nutriments et un habitat confortable à la bactérie avec son corps, celle-ci utiliserait son don de la photosynthèse pour lui fournir de l'énergie grâce à la lumière. Nul ne sait comment les deux interlocuteurs ont pu se comprendre, mais l'accord fut passé : les cyanobactéries emménagèrent à demeure dans la cellule de leur hôte, lequel transmit ses microbes (et leur don de photosynthèse) à sa descendance. Et l'évolution finit ainsi par donner naissance aux plantes.[35]

Constitués à l'origine d'êtres unicellulaires vivant en colonies pour former des algues marines, les végétaux vont s'insérer dans les écosystèmes de leur époque et y accroître la biodiversité. Par leur présence, ils servent de nourriture en enrichissant le phytoplancton (également constitué de bactéries), mais accélèrent également les mutations chimiques favorisant la présence d'oxygène au sein des peuples minéraux. Par l'effet tapis roulant, une partie de l'oxygène présent dans l'eau gagne l'atmosphère où elle rencontre les rayons ultraviolets du Soleil. Quand ils s'enlacent, une réaction chimique intervient pour donner vie à un autre composant gazeux : l'ozone. Grâce à l'oxygène produit par les cyanobactéries (seules ou en symbiose avec les plantes), l'ozone va connaître une croissance démographique pour devenir un peuple minéral gazeux des hauteurs, installé à une vingtaine de kilomètres d'altitude. Là-haut, la couche d'ozone fait écran aux rayons ultra-violets du Soleil qui ne peuvent plus menacer la vie terrestre. Sortir des eaux devient possible. Sans surprise, les bactéries pionnières sont les premières à sortir : il y a 500 millions d'années, les roches terrestres étaient au mieux peuplées d'êtres lilliputiens[36] qui y prenaient tranquillement des bains de Soleil, le peuple gazeux de l'ozone protégeant désormais la surface terrestre des rayons ultraviolets mortels du Soleil. La migration des algues végétales aquatiques vers la terre ferme eut lieu un peu plus tard (il y a 470 millions d'années ?), sans doute grâce à une symbiose avec des champignons capables d'exploiter les ressources hydrominérales du sol, pour ensuite les partager avec le monde végétal qui n'était pas adapté pour vivre seul hors de l'eau. Se faisant, le duo champignons-végétaux terrestres a métamorphosé le monde.

Sur Terre, l'abondance de végétaux a produit une végétation exubérante qui s'est mise à stocker du carbone, notamment en agglutinant de la matière organique morte autour de leurs racines. C'est le

[35] Marc-André Selosse, *op. cit.*, 2021, pages 36-39.
[36] Il s'agissait de bactéries, de champignons et d'algues microscopiques vivant en communauté et formant une fine pellicule (nommée « biofilm ») adhérant à la surface des rochers.

début de la formation de nos sols nourriciers… Mais encore faut-il que ceux-ci soient arrosés. Or, les nuages qui se forment au-dessus des océans peuvent, au mieux, parcourir 600 kilomètres avant de se dissoudre complètement. La pluie devrait donc s'arrêter là. Mais les végétaux ont leur mot à dire : les arbres et les forêts peuvent capter l'eau de pluie pour l'emmagasiner dans le sol, avant de la réinjecter dans l'atmosphère par évapotranspiration. Ce « service public » donne vie à de nouveaux nuages, portés par les vents plus loin à l'intérieur des terres où la pluie tombe, où les végétaux poussent, où la vie animale devient alors possible[37]… Signe de cette dépendance animale à l'égard des microorganismes et des peuples végétaux : nos lointains ancêtres, les poissons vertébrés, ne sont sortis des eaux originelles pour s'aventurer sur la terre ferme qu'il y a environ 270 millions d'années. Soit bien plus tard que les microorganismes et les végétaux qui leur ont préparé le terrain.

Des millions d'années auparavant, par la symbiose avec leurs cyanobactéries (qu'on appelle chloroplastes), les peuples végétaux ont également fait tourner la photosynthèse à plein régime, augmentant le taux d'oxygène dans l'atmosphère et les océans. Ce fut une aubaine pour les animaux dont la respiration gagna en efficacité. Certains grandirent en taille et eurent davantage d'énergie dans leurs mouvements, ce qui donna naissance aux premiers grands poissons prédateurs. Toutefois, la médaille eut son revers : à force de puiser du gaz carbonique pour la photosynthèse, les cyanobactéries et les végétaux dérèglent le thermostat planétaire. L'effet de serre s'amoindrit, et une vague glaciaire déferla sur la terre il y a environ 444 millions d'années. Dans les océans qui se rétractent alors sous l'effet du froid, c'est la bérézina : de nombreux habitats marins changent brutalement ou s'étiolent brusquement, emportant dans la tourmente leurs habitants incapables de s'adapter à un tel cataclysme. On estime que 85% des espèces marines existantes auraient alors disparu[38].

Pour ne pas conclure

Nous pouvons nous raconter des histoires.

Depuis des générations, nous plébiscitons celles qui mettent l'humain sur le devant de la scène. Sous la lumière des projecteurs de notre imaginaire collectif, des bipèdes rencontrent des *Homo sapiens*. Quoi qu'ils fassent, le spectacle nous fascine. Dans la pénombre de l'arrière-scène, c'est à peine si nous distinguons les figurants appelés à faire des apparitions sporadiques sur scène. Ils sont là pour nous distraire quelques instants, mais ne sont guère importants. Leur rôle dans la pièce est d'incarner la nature. Quelque chose de totalement différent. Quelque chose qui ne nous ressemble pas. Quelque chose qui est là pour nous servir quand on en a besoin. Quand l'économie en a besoin : *matières premières*, *ressources naturelles*, sans vous pas de shopping quotidien !

Nous pouvons aussi écouter d'autres histoires.

Par exemple, celle que raconte l'historien Kyle Harper sur la chute de Rome, où il n'est plus seulement question de « barbares » envahisseurs, mais aussi de dérèglement climatique et d'épidémies

[37] Source : Peter Wohlleben, *La vie secrète des arbres (Ce qu'ils ressentent. Comment ils communiquent ?)*, éditions Les Arènes, 2017 (1ère édition originale : 2015), pp.119-120.
[38] Source : Elizabeth Kolbert, *La 6e extinction (comment l'homme détruit la vie)*, La librairie Vuibert, 2015 (1ère édition originale : 2014), pages 115-124.

microbiennes ravageuses[39]. Ou celle du microbiologiste Marc-André Selosse sur la vie intime des sols, où minerais microbes et végétaux effectuent une danse sublime, fertile et fragile, dont nous dépendons *in fine* pour vivre[40]. Ou bien encore celle de la journaliste Marie-Monique Robin, dont la dernière enquête met le doigt sur l'origine des pandémies : à force de détruire la vie animale et végétale sans discernement, nous brisons des barrières naturelles qui nous séparaient de bactéries et de virus pathogènes… lesquels n'ont pas l'intention de se croiser les bras en acceptant un rôle de figurants dans l'histoire[41].

Le monde dans lequel nous vivons ne va pas bien, et ce n'est pas par hasard ni par malchance. Le dérèglement climatique est à nos portes. La biodiversité s'effondre. Des microbes inconnus font leur apparition et déclenchent des épidémies. Dans le débat public, d'aucuns cherchent à nier ou relativiser ces évidences. Mais l'histoire est en marche, et ses acteurs principaux n'ont pas changé depuis la nuit des temps : pour vivre, les êtres vivants que nous sommes ont besoin d'un monde minéral clément et de nombreuses interrelations au sein de la toile d'araignée des vivants. Deux besoins vitaux que nos civilisations malmènent de plus en plus gravement.

Tout au long de ce récit, j'ai sciemment tenu à nommer peuples les minéraux, les microbes et les autres vivants rencontrés au fil du temps. Une manière de souligner leur rôle d'acteur dans l'histoire. Mais aussi d'interroger la place que nous leur laissons dans notre imaginaire contemporain. Car le mot peuple est à géométrie variable.

À l'origine, il dérive du latin *populus* qui désigne « l'ensemble des habitants d'un État constitué ou d'une ville. » Dans l'Europe chrétienne, le terme est notamment utilisé (au IX^{e} siècle) pour désigner les « individus vivant ensemble et liés par la communauté d'origine, de coutumes, de traditions et d'institutions ». Dans la Rome antique, il distinguait les habitants de la cité qui n'étaient ni membres du Sénat, ni assimilés aux classes « inférieures » désignées sous le nom de plèbe. Mais quand Rome devint un empire, le terme peuple recula dans la hiérarchie sociale pour se fondre avec celui de plèbe et ne plus désigner que les oubliés de l'histoire. Enfin, dans une vision qui préfigure le sens démocratique et universel que nous lui donnons parfois aujourd'hui, le mot peuple a également été utilisé par la passé pour désigner « un ensemble d'individus qui, sans habiter le même pays, sentent qu'ils appartiennent à une même communauté par leur origine, leur religion […] ou un autre lien. »[42]

La question se pose alors : les peuples minéraux, microbiens, végétaux et animaux avec lesquels nous coexistons sur cette Terre sont-ils nos inférieurs, nos esclaves, de simples figurants ? Sont-ils des étrangers qu'on peut piétiner dans l'indifférence générale ? Sont-ils des ancêtres auxquels nous devons beaucoup ? Sont-ils des cohabitants avec lesquels nous devons apprendre à mieux vivre ?

Sur le fil de l'horizon, la vie funambule poursuit son bonhomme de chemin.
Et les histoires que nous nous racontons aujourd'hui dessinent le monde dans lequel nous devrons vivre - ou périr - demain.

[39] Kyle Harper, Comment l'Empire romain s'est effondré (le climat, les maladies et la chute de Rome), Paris, La découverte, 2019 (1ère édition en langue originale : 2017).
[40] Marc-André Selosse, L'origine du monde (une histoire naturelle du sol à l'intention de ceux qui le piétinent), Arles, Actes Sud, 2021.
[41] Marie-Monique Robin, La fabrique des pandémies (Préserver la biodiversité, un impératif pour la santé planétaire), Paris, Éditions La Découverte, 2021.
[42] Source : Alain Rey, *op. cit.*, p.1705.