

LA SEPARATION EN BIOLOGIE

STEPHANE LEGENDRE

LA CELLULE, L'INDIVIDU

En biologie, la « séparation primordiale » est sans doute celle qui s'est constituée pour séparer un assemblage de molécules de son environnement. Cette limite entre un extérieur et un intérieur progressivement auto-organisé a déterminé l'émergence de l'individu. Cependant, pour un être vivant, la frontière qui sépare le soi de l'environnement doit être perméable dans les deux sens afin de laisser passer l'information (perception, communication) et l'énergie (nourriture, déchets). Il s'agit donc plutôt d'une interface, d'un filtre. Pour les êtres unicellulaires¹, la topologie de la membrane poreuse qui sépare le soi de l'environnement est celle d'une sphère. Pour les êtres pluricellulaires, la topologie de l'interface est généralement celle d'un tore (le système digestif est topologiquement à l'extérieur) mais dans le détail extrêmement intriquée (branchies, poumons, pores, orifices sensoriels et reproductifs). Cette séparation — au sens d'établissement d'une interface, d'un lieu d'échange — est la prémisse d'une caractéristique essentielle du vivant : l'autonomie, première étape de la constitution de l'individu.

L'individualité a un prix, il faut la maintenir. Pour vivre, l'individu doit assurer sa cohérence interne et son adéquation à un environnement abiotique (température, climat, ressources inorganiques) et biotique (individus de la même espèce ou d'autres espèces). Pour cela les êtres vivants adaptent en permanence et de façon dynamique leurs fonctions métaboliques et cognitives à un environnement par nature fluctuant. La perméabilité obligée de la frontière entre le soi et le non-soi n'est pas sans danger pour l'être, qui doit posséder des mécanismes de défense et de protection (toxines, piquants, cuirasse, camouflage), et de maintien de son intégrité (contrôle du fonctionnement, correction d'erreurs). Par exemple, des parasites peuvent infecter l'organisme et détourner son fonctionnement et ses ressources à leur profit. Des mécanismes de protection se sont élaborés au cours de l'évolution, comme le système immunitaire. Le système immunitaire ne « voit » en fait rien du tout. Il ne fait que détecter des écarts à l'« équilibre » qui caractérise le fonctionnement normal de l'individu, et s'attache à préserver ce fonctionnement.

De même, par sa perception, l'individu ne « voit » pas la réalité inconnaissable du monde, mais en construit une représentation interne qui lui permet d'y survivre. Il se projette dans le monde. La perception filtre et atténue les messages violents que l'environnement jette à la face de l'individu, et sélectionne ceux qui lui sont utiles (par exemple la forme qui caractérise une proie dans le feuillage). Le rôle de la perception est donc aussi de protéger, de rendre aveugle à ce qui pourraient compromettre l'intégrité de l'individu percevant. Cela est aussi vrai des fonctions cognitives supérieures. Ainsi, afin de maintenir sa cohérence interne, le criminel reconstitue une réalité dans laquelle son crime est « justifié ». Un exemple moins extrême est donné par la reconstruction de notre passé, et les multiples compromis que nous devons faire avec nous-mêmes.

Le système nerveux, dont les plantes qui n'ont pas la faculté de se déplacer sont dépourvues, est apparu assez tôt dans l'évolution. Chez l'homme, la presque totalité de l'activité neuronale est dédiée au fonctionnement interne, la perception directe des stimuli externes n'en étant qu'une fraction infime. En revanche, pour notre protection, certaines perceptions sont directement câblées au réflexe salvateur sans être

¹ On distingue les cellules procaryotes, comme les bactéries, qui sont dépourvues de noyaux et dont l'ADN est en anneau, des cellules eucaryotes, pourvues d'un noyau qui contient l'ADN, organisé en chromosomes. Les eucaryotes, apparus après les procaryotes, sont plus complexes et présentent une grande variété de formes. Les êtres pluricellulaires, animaux et végétaux, sont constitués de cellules eucaryotes.

interprétées par le cerveau. On constate que l'intériorité des organismes augmente avec leur complexité.

L'interface qui délimite le soi du non-soi est une séparation fondamentale mais floue et ambiguë. On a découvert que divers organites des cellules eucaryotes (dont les mitochondries, et les chloroplastes chez les plantes) sont d'autres cellules (consommées comme proies ?), établies de façon symbiotique pour assurer des fonctions nouvelles (respiration, photosynthèse). Les coopérations et les fusions évolutives abondent dans la nature. Nos intestins (ouverts sur l'extérieur) abritent des milliards de bactéries (*Escherichia coli*) par ailleurs pathogènes, mais avec lesquelles nous avons établi une relation symbiotique depuis longtemps, relation devenue indispensable à notre survie.

L'individu pactise ainsi avec ce qui n'est pas lui. De même que l'on ne se baigne jamais deux fois dans la même rivière, l'individu n'existe qu'à travers une succession d'identités. Le soi n'est pas figé, mais fluctue, s'adapte, et oublie le soi précédent... Tout en restant le soi. Dans le corps humain plusieurs milliards de cellules s'autodétruisent chaque jour et sont remplacées par d'autres. Les cellules nerveuses, garantes de l'identité du sujet, sont parmi les seules à ne pas se renouveler, ou peu, mais leurs relations sont très plastiques.

LES ETRES PLURICELLULAIRES, LA DIFFERENTIATION, LE DEVELOPPEMENT

La notion opposée à celle de séparation est celle d'union, de réunion, de cohésion, de convergence, de rassemblement, de fusion, d'intégration. Les premiers individus, les cellules, ont trouvé avantage à coopérer, à fusionner en colonies. On observe au sein d'assemblages de cellules eucaryotes l'émergence de formes. Non seulement une structure émerge de la réunion des individus, mais certains individus se spécialisent. On voit ainsi apparaître une « tête » et une « queue ». L'organisation de la colonie se fait par échange de signaux chimiques qui se propagent par vagues créatrices de formes. On peut y voir l'ébauche des êtres pluricellulaires. Ici apparaît une autre forme de séparation, la différenciation.

Toutes les cellules d'un être pluricellulaire possèdent le même code génétique², mais la variété de leurs formes et de leurs rôles est très grande. Cela tient aux innombrables messages moléculaires de type activation-inhibition échangés entre elles et en leur sein. Dans un organe ou un tissu particulier, chaque cellule exprime des parties spécifiques du code, et inhibe d'autres parties. Ainsi, toutes les cellules de l'individu pluricellulaire sont représentatives du soi, la séparation et l'intégration des tâches étant coordonnées.

A propos des insectes sociaux (abeilles, fourmis, termites), on parle souvent de « super-organisme ». Les individus sont semi-autonomes, les dépendances entre eux étant gérées par des messages chimiques. Dans cette vision, l'être autonome est la colonie entière. De l'assemblage organisé de comportements individuels simples émergent des comportements collectifs complexes.

Au cours du développement embryonnaire, les cellules se divisent et se différencient, et le plan de l'organisme se met en place. Seules les cellules issues des toutes premières divisions, lors de la genèse de l'embryon, conservent la faculté de se transformer en n'importe quelle autre, et même de reconstruire l'organisme entier (cellules totipotentes). La différenciation cellulaire est irréversible. Cependant la plupart des

² Chez les animaux sexués, on distingue les cellules somatiques, dédiées à l'autonomie, des cellules germinales, dédiées à la reproduction. Toutes les cellules de l'organisme sont diploïdes, c'est-à-dire que leurs chromosomes sont organisés par paires (dans chaque paire un chromosome provient du père et l'autre de la mère), et se dupliquent par mitose, à l'exception des gamètes (ovules et spermatozoïdes), produits par les cellules germinales, qui sont haploïdes, c'est-à-dire possèdent un seul lot de chromosomes. Les gamètes sont obtenus à partir de cellules diploïdes par une division plus complexe que la mitose, la méiose, qui opère la réduction chromosomique et fige une recombinaison génétique particulière dans chaque gamète. Lors de la fécondation, la fusion de 2 gamètes haploïdes donne une cellule diploïde, qui combine donc les gènes des parents, et de leurs ancêtres.

organes possèdent des cellules généralistes (cellules souches) qui peuvent produire des copies d'elles-mêmes ainsi que plusieurs types de cellules spécialisées.

La pluricellularité permet aux organismes d'accéder à des histoires de vie plus élaborées, avec développement et maturation. Chez la plupart des insectes, on observe une phase larvaire qui ressemble à la phase embryonnaire des vertébrés, suivie par la phase adulte. Les deux phases, séparées par la métamorphose, se déroulent souvent dans des environnements différents avec des ressources différentes. Il semble que les stades larvaires, où l'énergie est accumulée en vue du stade adulte, où a lieu la reproduction, se soient progressivement allongés. La larve se transforme en puppe chez laquelle les organes sont entièrement recomposés. D'une sorte de bouillie informe émerge alors la forme délicate et éphémère de l'adulte.

On a découvert que des segments adjacents le long de l'axe du corps des organismes sont représentés par des zones adjacentes ordonnées du code génétique. Le système génétique qui organise le développement embryonnaire est universel à tous les animaux segmentés, dont font partie les insectes et les vertébrés. Les gènes du développement sont très semblables chez tous ces organismes, une « bifurcation » séparant les arthropodes (insectes, arachnides, crustacés) des vertébrés.

Des gènes induisent aussi le développement du système nerveux central, mais celui-ci reste très plastique et conserve des facultés de réorganisation tout au long de l'existence de l'individu. Le cerveau est à la naissance vierge dans le sens où beaucoup de connexions existent. Au cours de l'apprentissage, des connexions sont supprimées et l'autonomie cognitive se constitue peu à peu. Du point de vue du développement embryonnaire les êtres humains sont des prématurés, et l'enfance prolongée qui en résulte permet un développement considérable des capacités cognitives.

Il a été constaté que jusqu'à un certain stade du développement, les embryons de toutes les espèces de vertébrés sont très semblables. La Loi de Récapitulation postule que « l'ontogenèse récapitule la phylogenèse ». L'être en gestation récapitule avant sa naissance toutes les étapes parcourues par ses ancêtres. Chaque être vivant aurait ainsi au cours de la genèse de son moi, une « nostalgie » de l'unité originelle dont il va être irrémédiablement séparé.

LE POLYMORPHISME

Quand la reproduction est clonale, tous les individus ont le même génome. Les sources de variation du génotype sont les mutations qui modifient ponctuellement le code génétique ou son expression. Quand la reproduction est sexuée, il y a recombinaison des gènes du père et de la mère, et les génomes de tous les individus sont différents. Par ailleurs, des génotypes identiques produisent des phénotypes différents dans des environnements différents (plasticité phénotypique), ce qui est une autre source de variation. Chez une espèce donnée, les variations du génotype se manifestent par le polymorphisme, la séparation des phénotypes en formes, fonctionnements et comportements divers. Chez l'homme, il existe des polymorphismes superbes comme la couleur de la peau, des cheveux, des yeux.

Le maintien de la variabilité génétique dans une population est une assurance contre les modifications fortuites de l'environnement. En effet si celui-ci vient à changer, il pourra se trouver des génotypes pour répondre aux nouvelles conditions. La séparation — au sens de variation — des génotypes est donc une garantie de pérennité, par maintien d'un potentiel adaptatif.

LA SEXUALITE

La différentiation des êtres vivants la plus étonnante et sans doute la plus mystérieuse est celle du sexe. La sexualité touche à la deuxième caractéristique essentielle du vivant : la réplication ou la reproduction, la capacité qu'ont les entités biologiques à produire des copies plus ou moins fidèles d'elles-mêmes³. Au-delà de la reproduction des êtres unicellulaires par division — par duplication et séparation —, des mécanismes de reproduction divers ont été inventés par le vivant, principalement le maintien de deux classes d'individus à la fois semblables et différents, les mâles et les femelles⁴. Il s'agit en fait plutôt de deux fonctions complémentaires, qui s'individualisent de diverses manières : certaines populations passent de la parthénogenèse à la reproduction sexuée selon les conditions de l'environnement (pucerons, daphnies) ; l'hermaphrodisme (Hermès + Aphrodite) n'est pas rare chez les animaux et très fréquent chez les plantes, avec possibilité d'autofécondation ou pas ; des individus hermaphrodites et sexués peuvent coexister au sein d'une population (plantes, poissons) ; il y a même une bactérie (*Wolbachia*) qui induit la parthénogenèse chez les arthropodes qu'elle infecte.

Le déterminisme du sexe est souvent flou. Certains poissons changent de sexe au cours de leur vie. La détermination du sexe peut être liée à la température d'incubation des œufs (tortues, crocodiles). Chez de nombreux insectes, la femelle peut « choisir » le sexe de sa progéniture en fécondant ou non les œufs avec les spermatozoïdes stockés dans la spermathèque, et les œufs non fécondés donneront des mâles. Chez les insectes sociaux, la plupart des adultes sont des femelles stériles et les mâles sont produits occasionnellement. Ils s'accoupleront avec les futures reines d'autres colonies. Chez les mammifères, la forme mâle est acquise de haute lutte lors du développement embryonnaire par inhibition du développement de la forme femelle — qui est la forme primitive — grâce à une hormone, la testostérone.

La séparation sexuelle des individus est à l'origine de nombreux conflits (comme on le sait). En effet, les sexes étant dissymétriques puisque seules les femelles se reproduisent⁵, les mâles et les femelles n'ont pas les mêmes intérêts dans la reproduction. L'une des manifestations de cette divergence est l'anisogamie, la grande différence qui existe entre les gamètes femelles (ovules) et les gamètes mâles (spermatozoïdes). Les ovules sont gros, peu nombreux et protégés. Les spermatozoïdes sont petits, très nombreux et mobiles. Pour propager leurs gènes, l'intérêt des femelles est de mener à terme le développement de leurs précieux ovules, tandis que l'intérêt des mâles est de disperser leurs innombrables spermatozoïdes pour féconder le plus de femelles possibles. Chez l'homme, le mâle adulte produit 30 millions de spermatozoïdes par jour, tandis que la femelle possède une fois pour toutes à la naissance un stock d'ovocytes qui donneront quelques centaines d'ovules au cours de sa vie.

Du point de vue de la reproduction, les femelles sont une ressource qui peut causer une forte compétition entre les mâles. La compétition s'installe aussi entre les femelles pour obtenir les meilleurs mâles, ceux qui offriront une bonne « enveloppe » à leurs gènes. Les stratégies de reproduction sont donc très différentes du point de vue des mâles et des femelles, et elles varient également entre espèces selon les particularités anatomiques de la fertilisation. Cela conduit à une grande variété de systèmes d'appariement (monogamie, polygynie), à des parades sexuelles élaborées, à l'échange de signaux de toutes sortes : chimiques (phéromones), acoustiques (chant des oiseaux,

³ La reproduction implique la croissance exponentielle du nombre d'individus d'une population (du moins potentiellement car la limitation des ressources infléchit tôt ou tard la croissance). La fonction exponentielle est « séparante » dans le sens où elle amplifie de petites différences. Cette dernière propriété permet au principe de sélection naturelle, qui préside à l'évolution de toutes les formes vivantes, d'opérer. En effet, les génotypes porteurs d'une petite variation qui confère, dans un environnement donné un léger avantage à leurs phénotypes — en ce que le taux de croissance de ceux-ci est légèrement supérieur à celui des autres — vont rapidement être majoritaires, c'est-à-dire sélectionnés.

⁴ Il existe cependant une sorte de proto-sexualité chez les bactéries.

⁵ En général, la femelle transmet une cellule complète avec ses constituants et garantit le développement de l'embryon, tandis que le mâle ne transmet que son ADN.

stridulations des insectes, coassement des batraciens), visuels (coloration du plumage chez les oiseaux, cornes chez les ongulés, taille et force physique chez beaucoup de mammifères). Les ornements extravagants n'ont pas d'utilité. Chez les ongulés, les cornes impressionnantes des mâles ne sont utilisées qu'occasionnellement lors d'affrontements rituels pour l'accès aux femelles. Darwin, intrigué par ces phénomènes qui semblent contredire l'optimisation attendue du principe de sélection naturelle, les a regroupés sous le terme de sélection sexuelle.

L'une des manifestations la plus bizarre et sans doute la plus esthétique de la sélection sexuelle est le dimorphisme sexuel, parfois invisible, parfois extrêmement marqué, avec une débauche d'ornements et de comportements, coûteux en énergie (le carotène nécessaire à la coloration des plumes pourrait être investi dans d'autres fonctions), inutiles voire préjudiciables à la survie de l'individu (la coloration du plumage peut attirer les prédateurs), mais utiles à la propagation des gènes. En effet, la qualité des caractères sexuels secondaires d'un individu renseigne sur la qualité de ses gènes, et donc sur sa valeur comme partenaire sexuel.

Chez les espèces polygynes, les cycles de vie sont souvent, à l'instar de la morphologie, « dimorphiques ». Chez le mouflon, les mâles aux grandes cornes spiralées ont accès plus tardivement à la reproduction et survivent moins bien que les femelles. En conséquence, il y a 4 fois moins de mâles que de femelles à l'appariement et, pour bonne mesure, la taille de harem est en moyenne de 4. Chez l'éléphant de mer, le poids du mâle peut excéder par 5 fois celui de la femelle, et la taille de harem peut atteindre 50 femelles pour un mâle. Chez cette espèce, de nombreux mâles ne se reproduisent jamais, mais certains obtiennent furtivement des copulations à l'insu du mâle dominant.

On observe sur les îles⁶ de petites populations d'oiseaux où le dimorphisme sexuel est inversé : ce sont les femelles qui portent les atours colorés que les mâles de la même espèce portent sur le continent, comme c'est la règle. Il semble en fait qu'au cours de l'évolution les ornements disparaissent aussi bien qu'ils apparaissent.

L'un des mécanismes proposés pour expliquer ces déploiements est le processus d'emballage de Fisher. Une fois mis en place, le mécanisme devient explosif : les ornements des mâles et la préférence des femelles pour ceux-ci se renforcent mutuellement, du moins jusqu'au point où cela ne remet pas en cause la survie de l'espèce.

Le processus d'emballage s'inscrit dans un principe général en écologie évolutive, l'hypothèse de la Reine Rouge, qui dit comme la reine du même nom à Alice dans *De l'Autre Côté du Miroir*, qu'il faut courir pour rester sur place⁷. Les deux principales forces qui gouvernent l'évolution, la compétition (concurrence pour les ressources, prédation, parasitisme) et la coopération, fragile du fait de sa possible déstabilisation par les tricheurs, fournissent des illustrations de cette hypothèse. La compétition conduit à la course aux armements, comme la coévolution qui lie les lions aux gazelles : les lions accroissent leur puissance prédatrice et les gazelles allongent leurs pattes pour leur échapper. Pour la coopération, un exemple est donné par les relations mutualistes complexes qui unissent les plantes et les pollinisateurs, où il y a là aussi surenchère. Par exemple, une espèce d'orchidée offre des copulations factices aux insectes mâles en mimant la femelle à l'aide de poils et de parties mobiles. Cela permet la propagation du pollen. Certaines plantes trichent en n'offrant aucun nectar en récompense de la pollinisation, et quand le nectar est fourni, certains insectes parviennent à s'en gaver sans propager le pollen... En ce qui concerne la sexualité, compétition et coopération sont à l'œuvre à la fois chez les mâles et les femelles. Ces interactions doublement antagonistes permettent d'avoir une idée de l'étrangeté des phénomènes liés à la sélection sexuelle.

Un fait surprenant de la sexualité est qu'à part féconder les femelles, les mâles ne servent en général à rien. Chez certain poisson des abysses, le mâle nain, une fois qu'il a trouvé une femelle dans l'obscurité des profondeurs, se relie à son système vasculaire

⁶ Les îles sont des sites de prédilection des écologistes de part leur séparation d'avec le continent, leur mode de colonisation et les relations écologiques singulières qui s'y mettent en place.

⁷ « Now, here, you see, it takes all the running you can do to keep in the same place. »

pour n'être plus qu'une sorte de glande externe. Certaines femelles (araignées, mantes religieuses) dévorent le mâle juste après la copulation, et c'est justice, car l'énergie ainsi acquise servira à la production des œufs. Chez la plupart des oiseaux, les mâles ont un rôle crucial dans l'élevage des petits. De fait, les oiseaux sont en général monogames, mais les copulations hors couple sont très fréquentes. Par contraste, chez la plupart des mammifères les mâles ne fournissent aucun soins parentaux. Du reste, les mammifères femelles produisent du lait, et cela leur permet de s'affranchir de la présence du mâle. L'existence des mâles paraît un investissement bien coûteux alors que la sexualité n'est pas vraiment nécessaire à la vie. En effet, de nombreuses espèces non sexuées existent depuis des millions d'années, et il arrive que des espèces sexuées produisent des lignages non sexués (parthénogénétiques).

Il demeure que le but de la séparation des sexes est la fusion des gamètes, et que la recombinaison des gènes, rendue effective par la sexualité, permet une exploration plus large de l'espace des possibles. La sexualité apparaît donc comme une séparation superflue du point de vue du maintien de la vie, mais créatrice de beauté et de diversité, et plus généralement de complexité, ce qui est la tendance globale de la matière vivante.

LA DISPERSION

Dans le cycle de vie de la plupart des organismes vient une étape de dispersion, que l'on pourrait appeler au sens large « séparation d'avec la mère ». Cette étape a lieu à la naissance (dispersion des graines par le vent), au stade juvénile (dispersion des larves dans l'eau), à la maturité sexuelle (le jeune loup quitte sa meute de naissance pour trouver un partenaire et fonder une nouvelle meute) ou à l'âge adulte (colonisation de nouveaux territoires). Cette phase utile ou nécessaire à l'espèce est risquée pour l'individu, car il doit partir vers un inconnu auquel il n'est pas préparé. Peu de graines germeront, certains dispersants mourront en route... Le déterminisme de la dispersion est mal connu, mais sa nécessité tient à l'évitement de la compétition avec les congénères, l'évitement de la consanguinité, le brassage des gènes, l'expansion territoriale de l'espèce.

En ce qui concerne l'homme, le seul moyen d'éviter la catastrophe démographique et environnementale qui se profile est de disperser vers les planètes et les étoiles. Nous allons devoir nous séparer de notre mère la Terre.

LA SPECIATION

La spéciation est l'apparition par évolution de deux ou plusieurs espèces à partir d'une seule. On distingue deux formes principales de spéciation, induites par l'environnement.

Dans la spéciation allopatrique, une frontière géographique vient séparer les individus d'une même espèce. De part et d'autre de la barrière, ils vont évoluer différemment car ils doivent s'adapter à des environnements différents, et il y a aussi la dérive génétique. S'ils viennent à nouveau en contact après quelques générations, les individus ne seront plus inter-féconds et formeront donc deux espèces distinctes. Une branche de l'arbre évolutif s'est séparée en deux branches, et il n'y a pas de retour arrière possible. Un exemple de ce mécanisme est celui des pinsons des Galapagos, observés par Darwin lors de son voyage « initiatique » dans le Pacifique. Cette observation aurait contribué à l'élaboration du principe de sélection naturelle. Darwin remarqua des variations morphologiques notables chez des espèces de pinsons vivants dans des îles aux conditions environnementales différentes. Il postula (cela a été vérifié depuis par analyse génétique) que les îles avaient été colonisées originellement par une seule espèce, et que

cette espèce avait divergé en diverses branches, chaque espèce fille ayant adapté sa morphologie (forme du bec, taille) à la spécificité des ressources de l'île colonisée.

Dans la spéciation sympatrique, l'hétérogénéité des ressources locales est à l'origine de la bifurcation évolutive. Des individus d'une même espèce se spécialisent dans l'exploitation de ressources différentes sur un même site. Par exemple, chez une espèce de lézards, certains exploitent le bas des arbres, d'autres le haut. C'est le moyen d'éviter la compétition pour les ressources et de mieux utiliser celles-ci. Cette solution est favorisée par la sélection naturelle, et cela conduit à des divergences morphologiques et métaboliques des individus. Pour qu'il y ait effectivement spéciation et pas seulement polymorphisme, il faut supposer que les morphes s'accouplent avec leurs semblables, et que les morphes différents deviennent reproductivement isolés.

L'incidence de l'environnement est à nuancer car il pourrait exister un déterminisme endogène à la spéciation. En particulier, la sélection sexuelle, avec les divergences qu'elle entraîne, pourrait promouvoir la spéciation.

Une expérience récente sur la bactérie *Pseudomonas fluorescens* illustre le phénomène de radiation adaptative — la spéciation rapide par conquête de niches écologiques libres —, quoi que dans le cas d'une bactérie on ne puisse pas parler de spéciation. La ressource est ici l'oxygène dissous dans l'eau, dont la concentration diminue de la surface vers le fond. Le morphe initial, adapté à la concentration moyenne, se diversifie en quelques jours par mutation et sélection. Les morphes se distinguent par la forme de leurs colonies. Le morphe ancestral se maintient au milieu du microcosme, un mutant est adapté au fond pauvre en oxygène, et un autre mutant est adapté à la surface où il forme un biofilm par sécrétion d'une substance gélatineuse. Le biofilm permet aux individus de surface de se maintenir à flot, mais ce matelas coule en quelques jours, et le processus de diversification peut se reproduire de façon cyclique. Le nombre d'individus augmente rapidement avec la colonisation de l'espace et la diversification, puis se stabilise.

Nous voyons que la séparation de l'espace crée la séparation des espèces. En retour, la diversité des espèces et de leurs interactions façonne le paysage, chaque espèce constituant sa niche écologique. Il faut noter que les niches écologiques séparent les ressources dans l'espace, mais aussi dans le temps. Les plantes et les animaux ajustent leur développement sur des fenêtres favorables du cycle des saisons. Sur des temps beaucoup plus longs, les espèces végétales des forêts créent tour à tour les conditions de la succession d'autres espèces, et de leur propre disparition.

La règle de Cope stipule que la distribution des espèces selon leur taille s'étale au cours de l'évolution. Les petites espèces vont vers la spéciation et les grandes vont vers l'extinction. De fait, il y a beaucoup de petits mammifères et peu de grands, dont la plupart sont actuellement menacés d'extinction. Certaines espèces de reptiles ont donné naissance aux oiseaux, et il y a actuellement beaucoup d'espèces de petits oiseaux et peu de grands. L'extinction des grands reptiles il y a 65 millions d'années a permis la radiation adaptative des petits mammifères, dont certains sont devenus grands.

Dans une radiation adaptative, les espèces émergentes apparaissent plutôt comme des variations sur un même patron, alors que l'évolution présente aussi des innovations majeures : formation du noyau cellulaire chez les eucaryotes, apparition de la sexualité, mise en place de la pluricellularité, acquisition du système nerveux central, relations mutualistes entre plantes et pollinisateurs ayant permis le développement des plantes à fleurs, acquisition de la tétrapodie pour la conquête du milieu terrestre, du vol battu pour la conquête de l'air, de la bipédie et du langage⁸ chez l'homme. Mais il est vrai que les « innovations », perfectionnées dans la durée, apparaissent comme majeures *a posteriori*... Une particularité préexistante s'est avérée utile à un moment donné, s'est élaborée, créant une fonction nouvelle non prédéterminée. Ainsi, l'association de constituants transparents et photosensibles a pu aboutir à l'œil : la cristalline, constituante des cellules du cristallin, est une protéine qui procédait au métabolisme de la cellule avant que la vision ne « voie le jour ».

⁸ Si la bipédie est spécifique à l'homme, de nombreuses espèces possèdent des moyens de communication élaborés que nous sommes loins de comprendre.

LA MORT

Les êtres vivants sont transitoires, ils doivent être remplacés par d'autres êtres vivants. La mort est nécessaire à la vie. En fait, la mort et la vie sont deux faces d'un même phénomène, qui s'étend à tous les niveaux d'organisation du vivant (cellules, organismes, populations, espèces, assemblages d'espèces, et civilisations humaines). On estime que depuis l'apparition de la vie sur Terre, plus de 99% des espèces se sont éteintes.

Le vieillissement, qui conduit à la mort, tient à plusieurs facteurs. Il existe une forme d'érosion biologique. Ainsi, à chaque réplication, les cellules de l'organisme perdent des bouts de code et, malgré des mécanismes de correction, leurs fonctions se détériorent au cours du temps. Par ailleurs, les mutations défavorables qui contribuent à la sénescence ne sont pas contre-sélectionnées quand leurs effets se font sentir après que les individus se sont reproduits.

Les êtres non sexués qui se reproduisent à l'identique sont parfois considérés comme immortels, d'où une vision romantique qui associe le sexe et la mort. Ce n'est pas exact car l'érosion biologique affecte tous les êtres vivants. Quand un être unicellulaire se divise, la fille n'est pas identique à la mère, qui conserve en elle les constituants exécuteurs de la séparation, dont l'accumulation progressive provoque le vieillissement. Le « sacrifice » de la mère assure la jeunesse de la fille.

Selon la thèse du Gène Egoïste, le but de l'ADN est de se maintenir, et il n'a cure des myriades de « robots » qu'il fabrique pour y parvenir. Les individus réalisent le projet — ou plutôt le programme — de la molécule, qui est bien sûr aveugle aux manifestations de la vie, dont la souffrance et la mort.

Pour les cellules de notre organisme, la mort est acceptée de bonne grâce puisqu'elles possèdent des mécanismes d'autodestruction déclenchés de façon interne, et que seules d'autres cellules peuvent réprimer l'autodestruction. Le suicide cellulaire programmé (apoptose) est nécessaire à la construction et à la survie de l'organisme. Les cellules cancéreuses, qui ne répondent pas au programme d'autodestruction, provoquent la mort de l'individu. Il apparaît ainsi que la mort biologique est déterminée, programmée.

Cependant, du point de vue de l'individu programmé pour vivre, la mort est une séparation — au sens de changement d'état — difficile à accepter, même s'il s'est reproduit et a donc préservé une partie de soi. La mort est inévitable et universelle, et c'est peut-être le seul lot qui soit équitablement réparti entre tous les êtres vivants. Curieusement, l'acceptation de la mort semble demander une grande sagesse. Dans la culture humaine, la mort est traditionnellement envisagée comme une métamorphose où l'individu subsiste par son esprit ou son âme, ou fusionne, retournant à l'unité primordiale.

LA CONSCIENCE

Nous avons tous conscience de la conscience, pourtant personne ne peut en donner une définition. C'est sans doute parce qu'à l'image du vivant, la conscience est autoréférente. Elle est fondée sur une séparation — au sens de distanciation — que l'individu semble capable d'exercer entre son moi biologique pensant et agissant et l'observation de celui-ci. La conscience apparaît comme l'expression la plus aboutie du vivant. Serait-elle la « séparation ultime », faisant pendant à la « séparation primordiale » d'où émerge l'individu ? On peut penser, ou espérer, que son déploiement n'est pas achevé.

CONCLUSION

La notion de séparation, ou son opposé, s'avère être un fil conducteur intéressant pour décrire les phénomènes de la vie. En biologie, la « séparation » se diversifie en plusieurs modes, et opère à plusieurs niveaux. Elle est protéiforme comme ce qu'elle crée et détruit. La séparation est rarement nette, étant souvent imbriquée avec l'intégration. Il ressort des thèmes que j'ai proposé que la séparation, aussi coûteuse voire douloureuse qu'elle puisse être, permet souvent d'accéder à une unité nouvelle. Le « but » de la séparation en biologie est souvent la reconstruction à un ordre supérieur. Mais la nouveauté émergente a un prix. Le texte d'Empédocle ci-dessous dit magnifiquement les cycles de séparation et de fusion de la nature.

Mon discours dira le double aspect des choses :
car tantôt l'un a grandi seul
du multiple, et tantôt au contraire, le multiple est né
par division de l'un.
Deux fois donc naissent toutes choses mortelles,
et par deux fois elles disparaissent :
les éléments assemblés créent et détruisent tour
à tour la mort,
et la vie, quand tout se désunit, tour à tour apparaît
et périt.
Et jamais le changement ne cesse son perpétuel devenir,
soit que l'Amour amène tout à l'unité,
soit que la Haine disloque et dissocie ce que
l'Amour a réuni.
Ainsi dans la mesure où l'un est toujours né
du multiple,
et où, de l'unité disloquée, le multiple
toujours s'est constitué,
les êtres et les choses naissent et disparaissent,
car leur temps n'est pas sans limite.
Mais dans la mesure où jamais le changement
n'arrête son perpétuel devenir,
tout existe perpétuellement immuable dans le
cycle du temps.

Empédocle d'Agrigente
De la Nature