

# EVOLUTION

## Essai de réponse aux mystères de l'existence

Transmise depuis des millénaires sous la forme d'un passage de relai génétique, la vie s'organise comme un grand arbre dont la croissance perpétuelle se fait en éventail, et dont les ramifications se dirigent dans des directions multiples et parfois même, apparemment opposées.

Face à une telle diversité biologique, les curieux de nature sont frappés par l'existence de processus généraux de sélection naturelle qui régissent le monde vivant et qui permettent d'expliquer, malgré leur pluralisme, des manifestations aussi extraordinaires que celles des comportements sociaux. Avec la fontaine de découvertes scientifiques qui affluent de toutes les disciplines, la connaissance des processus qui nous gouvernent révolutionne notre vision des choses et nos croyances.

Les observations naturelles qui nous émerveillent au détour de nos promenades et attisent notre curiosité, nous font prendre conscience de l'impressionnante diversité biologique et des capacités d'adaptation du monde vivant.

Les auteurs de Curionat ont souhaité vous faire partager leurs lectures sur le thème de l'évolution, sous une forme chronologique.

Nous commencerons par les débuts de la vie sur Terre, évoquerons les organisations sociales animales résultant de la coévolution, puis les relations entre les cellules au sein des organismes, et terminerons par une approche de la structuration des sociétés humaines, toujours avec le même fil conducteur, celui de la sélection naturelle.

Sommaire :

PARTIE 1 : LIENS DE FILIATION ENTRE LES ESPECES

- 1.1 DE L'ORIGINE DU VIVANT
- 1.2 DE LA BACTERIE A LA CELLULE VEGETALE ET ANIMALE
- 1.3 DE LA SORTIE DES EAUX A LA COLONISATION TERRESTRE
- 1.4 DES VERTEBRES AUX MAMMIFERES
- 1.5 DU ROLE DES GRANDS CATACLYSMES DANS LA SELECTION NATURELLE
- 1.6 DE L'EVOLUTION EN MARCHE
- 1.7 DE LA DYNAMIQUE DE L'EVOLUTION

PARTIE 2 : LIENS SOCIAUX ET EVOLUTION

- 2.1 DE L'ORGANISATION SOCIALE POUR LA REPRODUCTION
- 2.2 DE L'EVOLUTION DES COMPORTEMENTS INDIVIDUELS VERS L'INTELLIGENCE COLLECTIVE

PARTIE 3 : LIENS DE FILIATION ENTRE LES CELLULES

PARTIE 4 : SYMETRIES ET EVOLUTION

PARTIE 5 : STRUCTURATION DES SOCIETES HUMAINES

- 4.1 DE L'INEGALITE DES SOCIETES
- 4.2 DE L'EXISTENCE OU NON D'UN GRAND ARCHITECTE DANS L'UNIVERS

### **PARTIE 1 : LIENS DE FILIATION ENTRE LES ESPECES**

#### **1.1 DE L'ORIGINE DU VIVANT**

L'origine connue de l'univers remonte au jour où toute la matière intergalactique qui n'était qu'énergie, fut réunie au même endroit il y a 13,75 milliards d'années, avant de réapparaître brutalement pour se disperser dans tout l'espace, sous la forme de particules élémentaires. Ces particules nées d'un environnement très chaud ( $10^{36}$  °C) qui seront confrontées au froid sidéral (- 273 °C) se réassemblent : quarks > nucléons > électrons > protons et neutrons > noyau > donnant naissance aux premiers atomes d'hydrogène d'abord, suivis 300 000 ans après et avec le refroidissement en dessous de 3000°C, des premiers photons lumineux et des atomes plus stables d'hélium, de deutérium, de lithium, à partir desquels des étoiles vont pouvoir se former.

La chaleur qui ré-augmente avec la gravité au centre des étoiles va recomposer les particules en formant d'autres noyaux qui seront d'autant plus diversifiés que la masse et donc la température dans l'étoile en formation est grande. Huit cent millions d'années après le big bang, les réactions thermonucléaires en chaîne engendrent des grandes quantités d'hélium à partir de l'hydrogène et, à partir de cet hélium, omniprésent, seront alors fabriqués dans la plupart des étoiles, le **carbone** à partir de 3 noyaux d'hélium **et l'oxygène** (4 noyaux d'hélium) qui constituent le berceau chimique de la vie. Seules les grosses étoiles permettront d'atteindre la chaleur suffisante pour engendrer des atomes encore plus lourds.

La création du système solaire il y a 4.6 milliards d'années avec la terre offrant une atmosphère composée d'hydrogène, d'hélium auxquels s'ajouteront d'autres atomes, ceux, et ce qui est logique, qui sont simples et **stables**, comme **l'azote**, avec 7 protons, 7 neutrons, 7 électrons. Avec l'aide des éclairs, un atome d'oxygène se liant à deux d'hydrogène donne naissance à **l'eau**.

Avec le refroidissement de la terre, les **4 premières molécules** se forment en associant des atomes : le carbone (C) avec l'oxygène (O) forme le **gaz carbonique** (CO<sub>2</sub>), et le **méthane** avec l'hydrogène (CH<sub>4</sub>), et ce dernier se combinant à l'azote pour former **l'ammoniaque** (NH<sub>3</sub>). Ces molécules sont la base d'une chimie qui sera baptisée bien plus tard « chimie organique », car celle qui est constituée des organismes vivants.

A partir d'un nuage de gaz et par gravité, les éléments formés s'agrègent donc pour former des planètes avec une élévation concomitante de la température à l'origine de la persistance d'un magma brûlant en leur centre.

La terre se forme ainsi il y a 4.5 milliards d'années. Elle engendre des **océans** à partir de la condensation de la vapeur d'eau et les quatre molécules pionnières donneront naissance à une kyrielle de composés, dont l'ozone, indispensable pour la vie sur terre avec son effet protecteur vis-à-vis de l'excès de rayons solaires nocifs. Après refroidissement et dissolution de l'ammoniac et du méthane dans les océans, l'atmosphère terrestre est alors composée surtout d'azote.

La suite de l'histoire chimique de la Terre se joue désormais dans les océans où l'eau, en contact permanent avec tous les atomes et métaux et brassée par les marées dues à la lune, va engendrer en cascade une myriade de nouvelles molécules comme les nitrates, phosphates, et chlorure de sodium, le sel de mer.

Au delà de ces molécules et de ces recompositions chimiques permanentes, **la vie** se caractérise par un élément nouveau : elle seule peut **s'auto reproduire** par un mécanisme différent du procédé qui l'a engendré.

Les premières preuves d'existence de la vie ont été trouvées dans des roches fossiles présentes sur les continents anciens comme l'Australie, le Groenland, l'Afrique du Sud, il y a 3,5 milliards d'années. Ce sont des calcaires sédimentaires contenant des traces de micro-organismes bactériens qui les ont constitués par couches successives. Ces formations, mélangeant le calcaire précipité par du vivant, encore appelées **stromatolithes**, ont probablement été formées par des bactéries à activité photosynthétique. Elles ont ainsi stratifié progressivement des masses rocheuses, dont certaines ont traversé l'histoire jusqu'à nous, en survivant aux cataclysmes.

Si aucune trace d'un précurseur transitoire entre le règne minéral et les bactéries n'a été découvert sur Terre, il est intéressant de noter l'extrême diversité des bactéries qui existaient dès cette époque : uni ou pluricellulaires et filamenteuses. Or, cette biodiversité apparaît peu compatible avec la thèse d'une évolution de ces bactéries à partir d'un ancêtre commun élaboré lui-même sur notre Terre. En effet, après le big bang qui créa notre univers il y a 14 milliards d'années, la Terre s'est formée il y a 4.5 milliards d'années mais n'est devenue hospitalière qu'après son refroidissement et l'arrêt des bombardements de météorites (10 000 fois plus forts qu'aujourd'hui), il y a 3.9 milliards d'années. L'hypothèse d'un **ancêtre commun bactérien antérieur aux origines de la terre** est évoquée par un faisceau de découvertes récentes, que Francis Crick (codécouvreur de la structure de l'ADN), avait été l'un des premiers à pressentir. La mise en évidence, à l'intérieur de **météorites** tombées sur Terre, ainsi que dans poussières de comètes recueillies par une sonde spatiale, de molécules rappelant celles du vivant comme des chaînes de cristaux de magnétite, et des acides aminés dont la composition isotopique signait par ailleurs une origine extra terrestre, est à l'origine de l'une des théories de l'origine du vivant, la "panspermie ou exobiologie" c'est-à-dire la dissémination de germes de vie d'origine X, dans tout l'univers.

Une autre théorie de la genèse du vivant est celle d'une **chimie pré-biotique** (avant la vie organisée) dans laquelle des composés purement l'atmosphère primitive du globe terrestre : l'éthanol : beau début de carrière pour pinard et dont les auteurs de Curionat radiations ou de la foudre, se créent des lipides, les sucres et enfin les acides catalyseur des argiles.



chimiques se forment par étapes à partir des gaz de synthèse de composés organiques simples (comme celui qui n'est rien d'autre que l'alcool de notre bon revendiquent foncièrement la filiation !). Sous l'effet des composés plus complexes comme les protéines, les nucléiques comme l'ARN, obtenus grâce à l'effet

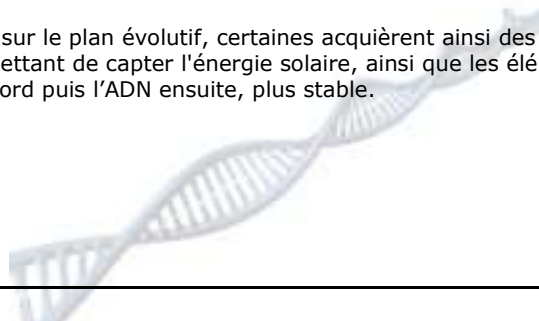
Enfin, une possibilité de naissance de la vie à proximité des émanations volcaniques sous-marines a été également évoquée.

L'organisation de ces molécules (en kit) vers un prototype de cellule vivante (proto-cellule) peut avoir eu lieu par agrégation des protéines sous la forme de **microgouttelettes, bordées par une membrane**.

A partir d'un amalgame de protéines, glucides, lipides, nucléotides, qui grossit naturellement, l'effet de la densité organise ces constituants avec les plus lourds au centre et les plus légers à l'extérieur comme les lipides qui forment une couche externe imperméable à l'eau mais perméable aux métabolites.

Thermodynamiquement parlant, cette structure vivante doit alors capter de l'énergie extérieure pour maintenir fonctionnelles les réactions internes qu'elle héberge comme le stockage de l'énergie captée, transformée sous la forme d'adénosine triphosphate, l'ATP.

Pour demeurer stables sur le plan évolutif, certaines acquièrent ainsi des pigments colorés précurseurs de la chlorophylle, leur permettant de capter l'énergie solaire, ainsi que les éléments auto répliatifs : des acides nucléiques : l'ARN d'abord puis l'ADN ensuite, plus stable.



L'apparition des bactéries sur Terre remonterait dans cette hypothèse à - 3.5 milliards d'années, dans une atmosphère initialement anaérobie (sans oxygène).

L'évolution des bactéries transportées par les courants marins, les vents, les a vu se spécialiser progressivement pour digérer la matière organique, initialement par **fermentation** (comme nos bactéries lactiques dans le fromage) et par **chimiosynthèse sans oxygène**, forme primitive de respiration. Les descendantes contemporaines de ces bactéries utilisent toujours les composés soufrés (les sulfates) et rejettent aussi de l'hydrogène sulfuré sur les plages bretonnes, polluées par le dépôt d'algues ! Les bactéries photosynthétiques sulfureuses vertes et pourpres apparaissent ensuite.

Les **cyanobactéries** (algues bleues) sont apparues il y a 2,5 milliards d'années avec une **activité photosynthétique** produisant de l'**oxygène** comme déchet et remplaçant l'utilisation des sulfates comme donneur d'électron par l'eau, **composé omniprésent sur la Terre**. Ce sont elles qui colorent encore aujourd'hui les rochers des côtes maritimes.

Le gaz carbonique CO<sub>2</sub> et l'eau H<sub>2</sub>O se transforment dans cette réaction photosynthétique en sucre (CH<sub>2</sub>O) et en oxygène (O<sup>2</sup>).

L'abondance de l'eau a été à l'origine de la prolifération de ces germes sur toutes les surfaces océaniques et terrestres du globe et donc de l'**enrichissement en oxygène** de l'atmosphère, pour atteindre sa teneur actuelle de 20%.

**La respiration**, utilisant cette fois l'oxygène comme substrat est arrivée ensuite, en présentant l'avantage de **libérer beaucoup plus d'énergie** à partir des composés organiques, utilisés comme aliments. Les bactéries se sont par la suite diversifiées dans deux directions pour devenir, soit des saprophytes (comme les bactéries intestinales aidant à la décomposition des nutriments), soit des parasites, provoquant des infections, en utilisant leurs hôtes comme véhicule.

Le handicap apparent d'absence de reproduction sexuée chez les bactéries (gage d'adaptabilité chez les organismes en étant dotés) s'est vu compensé par l'extrême vitesse de réplication de ces organismes. Certaines se divisent en moins de 30 minutes (signifiant le doublement de leur population). Ceci explique la sévérité des infections dues à des germes virulents ou ayant acquis des capacités de résistance (sélection des mutants par pression évolutive des traitements antibiotiques, par exemple).

Les capacités adaptatives des bactéries doivent nous pousser à la modestie ! Elles règnent à présent en maître quantitativement sur la planète (10<sup>30</sup> individus estimés) y compris dans les conditions les plus extrêmes de nutrition et d'environnement, allant de l'antarctique jusqu'aux sources volcaniques les plus chaudes (100° C) sans oublier leurs capacité d'être ressuscitées après plusieurs millions d'années enfermées dans un cristal !

Elles démontrent que le **dessein de la vie ne tend pas systématiquement vers la création d'êtres complexes**, comme l'homme. Ce dogme religieux de domination de l'espèce humaine missionnée pour maîtriser le monde est inexact biologiquement. C'est triste mais, en dépit de notre intelligence, de nos technologies et de notre organisation sociale, nous ne sommes pas biologiquement parlant des êtres supérieurs. Rester petit s'est révélé être quantitativement la stratégie majeure de l'évolution. Les bactéries, dont la taille ne dépasse pas le micron (0.001 mm) ont plus de chances que nous de voir un jour de leur balcon l'explosion solaire finale, qui clouera définitivement la parole aux descendants des auteurs de Curionat !

*En savoir plus:*

*Comment la vie a commencé - Alexandre Meinesz - Editions Belin pour la science -Sept.2008.*

*L'évolution chez les végétaux : des bactéries aux arbres et aux plantes à fleurs- Paul Mazliak- collection inflexions- Editions Vuibert, Adapt-SNES- Nov. 2009*

*Les sept coups de génie de Mme Bigabanga- Jean Noel Fenwick – Editions Albin Michel inverscience 2010*

*L'évolution vue par un botaniste- Jean Marie Pelt – Editions fayard janvier 2011*

## **1.2 DE LA BACTERIE A LA CELLULE VEGETALE ET ANIMALE**

L'émergence de la flore et de la faune que nous connaissons actuellement s'est faite grâce à l'adaptation des graines originelles du vivant que sont les bactéries. Tout comme les particules élémentaires qui ont constitués des atomes eux-mêmes s'associant en molécules, les bactéries ont évoluées en s'associant pour additionner leurs potentialités : "seul on avance plus vite, ensemble on avance plus loin " !

Parmi les scénarios expliquant ces **unions de bactéries** au sein des lagunes, est évoqué parmi d'autres hypothèses, l'assouplissement de la paroi bactérienne permettant d'augmenter la surface de contact pour mieux exploiter les déchets organiques provenant d'autres bactéries. Si, initialement, cette association s'est faite par simple rapprochement des deux bactéries, celle-ci a pu évoluer ensuite vers une **stratégie carnivore**, une

grosse bactérie encerclant puis digérant d'autres bactéries (ce phénomène est comparable à celui des globules blancs polynucléaires, ces derniers phagocytant les microbes).

Sélectionnées par des contraintes environnementales, des nouvelles formes de collaboration ont vu le jour comme le couple bactérie carnivore/bactérie proie qui évolue ensuite par **symbiose** lorsque coexistent des intérêts communs entre partenaires : par exemple une bactérie consommant les matières organiques s'associant avec une bactérie dotée de systèmes permettant de capter l'oxygène et donc de vivre en milieu oxygéné, proche de la surface des mers. La symbiose s'est traduite par l'intégration (et non plus la digestion) de l'une des bactéries dans l'autre en conservant une partie d'autonomie. La bactérie intégrée est devenue ainsi un **organite** de la cellule hôte.

Ceci a donné naissance aux **cellules** dites eucaryotes, c'est à dire possédant un **noyau** (enfermant le chromosome, auparavant libre dans la cellule). Cette cellule apparue il y a 0.6 à 1.2 milliards d'années, constitue l'ancêtre commun des végétaux et des animaux. La symbiose (association à bénéfices réciproques) entre une bactérie sulfureuse verte et une bactérie sulfureuse pourpre est sans doute à l'origine des cyanobactéries (algues bleues). Des **cellules dotées d'un système respiratoire cellulaire, la mitochondrie** productrice d'énergie, elle aussi ex-bactérie, donneront naissance aux organismes qui seront capables de vivre dans une atmosphère qui commence tout juste à être oxygénée à cette époque.

Les cellules des règnes animaux et végétaux possèdent un patrimoine commun : noyau, membrane cytoplasmique, mitochondries respiratoires, et outils de fabrication des protéines (ribosomes). Une endosymbiose secondaire est intervenue intégrant un autre organite, le **plaste chlorophyllien, ou chloroplaste**, qui est aussi une ex bactérie phagocytée (proche des cyanobactéries). L'ensemble donne naissance aux **cellules végétales** planctoniques nomades qui évolueront vers les plantes vertes et qui constituent de nos jours un clade (famille) dont les espèces sont toutes issues de cet ancêtre commun : algues vertes > fougères > palmiers.

Avec ce type d'organisation, la cellule ouvre la voie d'une spécialisation des éléments constitutifs : la paroi pour les échanges nutritifs, le noyau pour la reproduction, les ribosomes pour la fabrication des protéines, les vacuoles pour les déchets, et la mitochondrie ou le plaste pour l'énergie. Noter que même dans les cellules des organismes d'aujourd'hui, ces organites (mitochondries et chloroplastes) conservent encore des caractéristiques de division typiquement bactériennes. Au final, les techniques de datation grâce aux homéogènes (comme les gènes maîtres de type HOX, qui régissent l'organisation des embryons en formation, notamment les membres, nageoires, antennes) montrent que la **séparation entre les règnes animal et végétal s'est effectuée ainsi il y a 1.6 milliards d'années**. Apparaît ainsi une divergence notable dans les modes d'alimentation : les plantes ne sont dépendantes sur le plan énergétique que de la lumière solaire pour fabriquer des sucres par photosynthèse. Les animaux, quant à eux, assurent leurs besoins énergétiques indirectement en se nourrissant des premières. Preuve que la transition a existé, il existe encore de nos jours des algues qui ont conservées les éléments qui leur permettent selon les conditions environnementales soit de faire de la photosynthèse, soit d'utiliser des nutriments d'origine organique. Le passage du stade végétal au stade animal s'accompagnera également d'une perte de la rigidité des membranes jusque la cellulose, ce qui va autoriser les déplacements autonomes des lignées animales alors que les plantes resteront fixes.

A ce stade d'organisation encore simple car unicellulaire, un nouveau moteur turbo de l'évolution est intervenu progressivement avec l'acquisition de la **reproduction sexuée** qui différencie les nouvelles cellules qui en sont dotées, des bactéries originelles se divisant par simple duplication du matériel génétique.

En sélectionnant des bactéries comportant un double jeu de chromosomes, l'évolution a apporté 4 innovations majeures :

- **l'innovation**, car le nouvel individu naît avec un nouveau patrimoine génétique qui lui est propre,
- la mobilité des animaux augmente les possibilités de **brassage** et donc d'adaptation,
- **la compensation du caractère parfois déficient** d'un gène par celui de son homologue, sur le chromosome jumeau,
- **la possibilité d'échange de matériel reproductif** donc de brassage génétique pour stabiliser les mutations aberrantes et doper les facultés d'adaptation à des environnements nouveaux et changeants.

Un petit milliard d'années plus tard, avec l'augmentation de la teneur en oxygène des océans, une **flore puis une faune composée d'une association de plusieurs cellules « pluricellulaires », sédentaires** cette fois, ont envahi la Terre entière entre 2.1 milliards d'années (bactéries, puis algues) et 640 millions d'années (animaux), faisant alors apparaître des organismes visibles à l'œil nu, proches des **éponges, des méduses et des coraux** utilisant des filaments pour capter leur nourriture dans l'eau, **des vers, des étoiles de mer puis des crustacés et l'ancêtre des vertébrés** ("la honte !"), un **vermisseau** !

Il y a 300 000 ans, des symbioses secondaires avec des bactéries allongées (bactéries proches des spirochètes) ont apporté de nouveaux caractères aux cellules comme les **cils**, permettant leur **propulsion** en donnant naissance aux protistes, comme les amibes. A l'inverse certaines algues comme les laminaires ont acquis des crampons sur leurs thalles, afin de pouvoir se fixer solidement sur les rochers.

D'autres caractères de **différenciation cellulaire au sein d'un même organisme** se sont mis en place comme la capacité de se diviser, attribuée à la seule cellule terminale du filament, les autres cellules perdant cette faculté. Une "civilisation" de cellules spécialisées et structurées dans l'espace s'est ainsi organisée au sein des organismes pluricellulaires, à l'image de ce que nous observons dans les sociétés d'insectes sociaux ou chaque catégorie d'individus se spécialise dans une tâche avec division du travail. L'arrivée de cette pluricellularité a été à l'origine des possibilités de conquête de nouveaux milieux comme les terres émergées : apparition des premiers végétaux terrestres il y a 470 millions d'années (MA), puis des fougères (410 MA) et des conifères (360 MA), des mammifères (205 MA) des plantes à fleurs (125 MA) des dinosaures (65 MA) des pré hommes (7 MA) des hommes de Cro-Magnon (32 000 ans) suivis de près par les auteurs de Curionat, pressés de faire la une, mais sans pour autant renier leurs origines : L'environnement extra cellulaire de nombreux animaux (le plasma) a une composition en sel proche de celle de l'eau de mer (le sérum physiologique perfusé aux déshydratés est à 9g de sel pour 1000). Cette similitude trouve vraisemblablement son origine dans la mer primitive où sont apparues les premières traces de la vie.

Autre innovation des cellules sensorielles se spécialisent pour apporter des avantages à leurs possesseurs : comme les poissons, qui acquièrent **la vue**.

### 1.3 DE LA SORTIE DES EAUX A LA COLONISATION TERRESTRE

C'est probablement à partir d'algues bleues et vertes présentes dès le Cambrien (- 500 MA) sur des zones côtières périodiquement asséchées (comme nos varechs : algues brunes), qu'a débuté la colonisation des plantes terrestres. Les algues Charophytes ont déjà un port (tige axiale et ramifications radiales) qui ressemble à celui des plantes terrestres dont les premières poussaient dans les eaux douces.

De nouvelles problématiques d'adaptation au milieu terrestre ont été réglées comme celle de la résistance aux variations climatiques, notamment pluviométriques.

A partir de là, une véritable explosion de la flore continentale s'est opérée à la fin du Silurien (- 475 MA) avec la dissémination des **mousses** qui restent encore très dépendantes de l'eau, mais qui sont dotées d'une capacité de ressusciter après une période de dessèchement quasi total.

Chez les mousses et chez les fougères primitives le gamète mâle cilié nage pour rejoindre le gamète femelle, la reproduction est encore totalement dépendante de l'eau, comme chez les algues.

L'adaptation à l'atmosphère terrestre crée ensuite des appareils végétatifs qui vont progressivement se dresser et se ramifier et, l'air étant moins porteur que le milieu aquatique, l'évolution va sélectionner les plantes qui possèdent des structures mécaniques de soutien, cellululosiques puis ligneuses (le bois), qui leur permettront contrairement aux mousses qui restent naines, d'évoluer vers des tailles bien plus grandes.

Les tiges et les feuilles se protègent par un revêtement de cutine incrusté de cires imperméables et la présence dans la paroi d'un réseau de trous, dont l'ouverture est contrôlée par des cellules somatiques permet aux plantes de s'adapter à la sécheresse (fermeture des trous) pour économiser leurs réserves d'eau. Même sans déodorant, elles savaient déjà gérer leur transpiration !

Avec l'apparition des fougères à graines, les tissus végétaux se dotent de **vaisseaux apportant l'eau** (430 MA) **et les sels minéraux puisés par les racines** et démarrant la lignée des plantes vasculaires avec les **Cooksonia**, les premières plantes terrestres, encore sans feuilles et ressemblant aux joncs.

Arrivent ensuite les **feuilles** offrant la surface nécessaire au captage de la lumière et à celui des teneurs plus faibles du gaz carbonique dans l'air que dans l'océan, et un organe reproducteur femelle spécialisé, **l'ovule**.

Le permocarbonifère (- 300MA), voit arriver le règne des prêles géantes et des grands arbres de 30 m de haut dans des lagunes tourbeuses ; mais l'herbe n'existe pas encore au primaire, il n'y a que du **lichen** (symbiose entre une algue et un champignon). Les premiers conifères apparaissent.

De nouvelles structures reproductives émergent comme le sporange qui contient des **spores** très légères, ce qui favorise leur dispersion à l'air libre, la sexualité s'émancipe du milieu aquatique, mais nous n'en sommes pas encore au septième ciel !

Les organes reproducteurs évoluent à nouveau, remplaçant les spores par des **graines** comme organe de dispersion, dès le carbonifère. Celles-ci présentent un avantage constitutif considérable avec des réserves pour l'embryon et une résistance à la dessiccation, permettant d'attendre les conditions propices à la germination. Le **pistil** se transforme après la fécondation en **fruit**, entourant la **graine**. Il renforce la protection des ovules face au milieu extérieur. Ceux-ci se miniaturisent et s'entourent progressivement de tuniques dont le nombre qui ne cessera d'augmenter, est une constante dans l'évolution. L'arrivée de l'ovaire enfin, qui contient les ovules dans une enceinte totalement close, parachèvera la protection ultime du gamète femelle, source précieuse de la vie.

En passant à l'ère secondaire (-200 MA) une période de réchauffement et de sécheresse va anéantir la flore jusque-là luxuriante. Seule la famille des conifères et le Ginkgo biloba y ont résisté, pour arriver jusqu'à nous. Les plantes à fleurs (Angiospermes) prennent le relais à partir du Crétacé (- 130 MA) et ceci, grâce à leur meilleures capacités de diversification (arbres, arbustes, buissons, lianes, plantes épiphytes, herbes) liée à leurs systèmes évolutifs cumulés :

L'arrivée de la **fleur** perfectionne le système reproductif, elle est dérivée des feuilles par action des homéogènes de type MAD, encore appelés « gènes architectes ».

L'équivalent des homéogènes MAD qui commandent l'initialisation florale chez les végétaux, existent chez les animaux vertébrés comme invertébrés, où ils commandent les multiplications cellulaires. Là encore, la communauté des mécanismes initiaux entre les règnes du vivant est flagrante et démontre l'identité des phylogénies initiales. Ainsi, chers amis végétariens, n'oubliez pas qu'en dégustant une laitue, vous dévorez vivante votre arrière-arrière petite cousine !

Pour économiser la fabrication de gamètes, la fleur ajoute à la fécondation classique par le vent, celle liée au transport de la graine par les animaux : les fleurs sont donc logiquement colorées et parfumées pour attirer les butineurs qui assureront la fécondation croisée et leurs fruits de même, pour attirer les gourmands qui transporteront leur graine !

Avec l'arrivée d'un climat alternant saisons chaudes et froides dans les zones tempérées du globe, les arbres adopteront deux stratégies adaptatives : un mode de vie ralenti en hiver, des feuilles miniaturisées (aiguilles) mais conservées l'hiver pour les conifères et à contrario, la perte des feuilles à la saison froide pour les feuillus.

C'est également au Permien (-250 MA) qu'une évolution fondamentale parallèle aux plantes se fait chez certains insectes avec l'invention d'un stade de nymphe, qui ne s'alimente pas, ce qui lui permet de surmonter les périodes de disette.

On sait que la dérive des continents explique parfaitement que l'Europe était située à cette époque sur l'équateur et bénéficiait donc d'un climat chaud qui a permis à des rhinocéros et à des éléphants de vivre chez nous !

Une autre évolution liée à la vie terrestre concerne l'**œuf** chez les vertébrés, qui est d'abord apparu chez les reptiles et qui n'abrite que le début du cycle embryonnaire chez les taxons anciens de poissons et de batraciens, le développement de l'embryon se poursuivant hors de l'œuf (têtard/ grenouille).

L'adaptation à l'environnement terrestre verra ensuite chez des espèces ovipares, la création d'un œuf à structure plus élaborée qui leur permettra d'héberger alors la totalité du développement embryonnaire au sein de cet œuf de 2<sup>ème</sup> génération.

#### 1.4 DES VERTEBRES AUX MAMMIFERES

L'installation terrestre des plantes a engendré la formation de sols et cette couverture végétale s'est avérée favorable à la sortie des eaux des **invertébrés**, dont les premiers à émerger au silurien, furent des myriapodes (mille pattes), il y a 420 MA.

Cette faune a ensuite proliféré en se diversifiant sur terre. En l'absence de prédateurs terrestres, elle a évolué vers des animaux de grande taille présents au Carbonifère, comme des libellules de 70 cm d'envergure, des mille-pattes de 2 m, des apparentés scorpions de 3 m !

Les premiers **vertébrés** (- 450 MA) appartiennent sans doute au genre Pikaia, petit ver de 4 cm de long. Dans les mers, vivent aussi des hippocampes et des poissons dont certains acquièrent des os de leur **nageoire pectorale à 3 segments**, préfigurant l'organisation des membres de tous les **tétrapodes** (animaux possédant 4 membres) :

- humérus / fémur
- radius cubitus / tibia péroné
- os du poignet et de la main / os de la cheville et des pieds.

Les premiers vertébrés possédant quatre membres (**tétrapodes**) émergent au Dévonien il y a 380 MA **dans le milieu aquatique** côtier proche de nos mangroves actuelles, et ce n'est que 40 MA plus tard, au carbonifère (- 330 MA), qu'ils sortiront de l'eau, initialement pour des incursions puis, définitivement, leur système respiratoire ayant évolué pour respirer l'air.

L'origine de cette évolution apportant les membres à ces animaux aquatiques à morphologie d'**amphibiens** n'est pas tranchée.

##### 1. Elle est peut être fonctionnelle :

Stabilisation des corps dans l'eau comme des ballasts ?  
Préemption de la femelle par le mâle lors des accouplements\* ?  
Organe de reptation permettant d'émerger hors de l'eau (comme certains poissons de mangrove le font actuellement à l'aide de leurs nageoires) ?

\* Pour éviter la dessiccation des gamètes à l'air libre, une évolution des systèmes urogénitaux a pris place lors de l'adaptation à la vie terrestre en transformant les organes copulateurs, impliquant un rapprochement des partenaires.

## 2. Elle peut être le résultat d'une exaptation :

En effet, les homéo gènes qui commandent au stade de l'embryon, le développement des doigts (gènes HOX), interviennent également dans la conception du système urogénital, de l'appareil digestif et dans celle d'os crâniens. Il est donc possible que l'arrivée des membres soit en fait une conséquence secondaire de modifications portées initialement sur le système urogénital, digestif ou crânien.

Ces membres sont encore communs à tous les tétrapodes, qu'ils aient ensuite évolué pour nager (mammifères marins), marcher (mammifères terrestres, reptiles : lézards et serpents qui ont perdus ces membres au cours de leur évolution), voler (chauves-souris et oiseaux), ou sauter (grenouilles). Au sein de la Pangée, supercontinent regroupant à cette époque tous les continents que nous connaissons, vivent entre autres, des amphibiens carnivores de 8 m de long (-210 MA) et des reptiles.

Une autre avancée de l'évolution intervenant au Carbonifère (- 310 MA) chez certains tétrapodes dits **amniotes**, a été la possibilité de **pondre ailleurs que dans l'eau**. Avec les reptiles, la création d'un sac membraneux (l'amnios) contenant des nutriments pour le développement de l'embryon baignant dans le liquide amniotique un pas évolutif est franchit par rapport à leurs cousins, les amphibiens, qui persistent à être tributaires du milieu aquatique pour se reproduire.

Ils vont vite être à leur tour « dépassés » car leurs œufs des reptiles sont incubés grâce aux rayons solaires peu contrôlables alors que chez leurs descendants, les oiseaux, ils le seront par couvage, avec la chaleur minimum garantie, provenant du parent.

Des évolutions morphologiques prennent place en cascade comme les poumons plissés pour augmenter le rendement des échanges gazeux et un meilleur cloisonnement du cœur pour la distribution de l'oxygène ; la peau kératinisée plus résistante ; l'allongement du cou ; l'articulation vraie de la cheville ; et enfin l'élévation du sol par allongement des pattes, facilitant une vraie marche pour des déplacements plus importants.

On assiste à une répartition en deux clades : celui des reptiles-oiseaux, et celui des mammaliens. De petits dinosaures à plumes ont été découverts en Chine, prouvant que les oiseaux descendent bien des dinosaures. Parmi les reptiles, émergeront des formes bipèdes qui pourront bientôt marcher et grimper dans les arbres en s'accrochant aux branches (queue devenant préhensile) ; des formes ailées (exaptation d'une fonction initiale permettant de capter la chaleur, vers une fonction de vol) ; des formes mimétiques (camouflage homochromique). L'émergence des animaux se redressant et devenant arboricoles s'explique peut-être par la compétition alimentaire (feuilles et insectes) qui s'était instaurée au sol avec nécessité d'occuper toutes les niches écologiques, du sol, jusqu'à la canopée.

C'est au trias supérieur, qu'apparaissent les **ancêtres des mammifères**, animaux de petite taille présentant un élargissement des parois des orbites (animaux fousseurs ou nocturnes) ; une dentition (émail) et un crâne incluant des analogies avec les futurs mammifères (accrochage des muscles masticateurs, os frontal touchant le palatin). Ici le fœtus est incubé dans le corps même de la mère pour optimiser sa protection. Les premiers mammifères apparaissent il y a 220 MA.

Ils côtoient les premiers **dinosaures** bipèdes et petits, ainsi que des reptiles herbivores cuirassés ou, carnivores.

Au final, sur les 4 milliards d'années d'épanouissement de la vie terrestre, **2 milliards ont été strictement unicellulaires** avec des cellules sans noyau, **1 milliard d'années** d'organismes unicellulaires avec acquisition du **noyau**, **1 autre milliard** d'années de vie cette fois **pluricellulaire**, 3.6 milliards d'années de vie uniquement aquatique, seulement 400 millions d'années de vie continentale dont 3 petits millions d'années de vie humaine !

*En savoir plus :*

*La terre avant les dinosaures - Sébastien Steyer- Alain Bénéteau- Bibliothèque scientifique- Editions Belin pour la science. Février 2009*

*L'histoire de l'homme ; 22 ans d'amphi au Collège de France - Yves Coppens - Editions Odile Jacob. Mars 2010*

## 1.5 DU ROLE DES GRANDS CATACLYSMES DANS LA SELECTION NATURELLE

La biodiversité est le fruit des contingences génétiques qui, par le fruit du hasard, apportent des innovations qui seront confrontées à l'environnement pour, au final, soit perdurer soit être définitivement éliminées. Cependant, la part de hasard de la vie n'est pas limitée aux seules fluctuations de ces mutations internes.

Les événements cataclysmiques (ainsi que les grandes glaciations) ont aussi joué un rôle primordial dans l'histoire du vivant, notre monde ayant subi 5 phénomènes externes, réduisant à néant à chaque fois au moins 50 % des espèces animales présentes :

- Ordovicien : - 440 MA                      disparition de 57 % des genres d'animaux
- Dévonien : - 370 MA                      disparition de 50 % des genres d'animaux
- **Permien-Trias** : - 250 MA                disparition de 83 % des genres d'animaux
- Trias-Jurassique : - 205 MA              disparition de 48 % des genres d'animaux
- Crétacé tertiaire : - 65 MA              disparition de 50 % des genres d'animaux dont les dinosaures
- L'Holocène : - 10 000 ans : ici le réchauffement climatique a favorisé l'expansion du vivant.
- Post grenelle de l'environnement : années 2010 après J-C et suivantes : prises de conscience timides mais statistiques syndicales et gouvernementales trop divergentes pour leur publication !

La **crise du Permien-Trias** s'est révélé la plus meurtrière en conduisant à la disparition de 95 % des espèces marines et, sur la Terre, de 70% des vertébrés, ainsi que de beaucoup d'insectes et de plantes (fougères à graines). Son origine pourrait être l'impact d'une météorite tombée en Australie (cratère Bedout), engendrant des conséquences climatiques.

Celle du **crétacé tertiaire** a été fatale aux Dinosaures et a été provoquée également par l'impact d'une météorite (cratère Chicxulub au Mexique) et/ou par des éruptions volcaniques retrouvées en Sibérie et en Chine au même moment, ou encore par un changement climatique lié à une baisse du niveau des Océans consécutif à un mouvement des plaques tectoniques (toutes les anciennes mers de moins de 200 m de profondeur ont disparu). Le refroidissement du climat a vu l'extinction d'une proportion élevée des animaux à sang froid comme les Dinosaures incapables de s'adapter, au profit de ceux disposant d'une régulation thermique comme les oiseaux et les mammifères.

Si les crises ont anéanti des pans entiers de vie terrestre, elles ont abouti à redistribuer les cartes pour de nouvelles occupations des niches écologiques abandonnées. Certaines espèces ont trouvé refuge dans des zones côtières lagunaires, comme cela a sans doute été le cas pour les crocodiliens, qui sont arrivés ainsi jusqu'à nous.

Il faut noter le grand pouvoir adaptatif des végétaux qui ont beaucoup mieux survécu à ces crises (mis à part principalement les grands arbres des forêts carbonifères) : possibilité d'enfouir les appareils reproducteurs sous terre (graines contenant des réserves, rhizomes, bulbes..); arrêts végétatifs en saisons froides; dissémination des pollens vers des régions plus tempérées... Les mammifères qui ont eu la bonne idée d'assurer le développement du fœtus dans le ventre même maternel, et de diversifier leur alimentation, ont aussi tiré leur épingle du jeu.

Face à des conditions cataclysmiques, retenons que cela ne sert à rien d'être grand, complexe et tributaire d'une alimentation trop spécialisée !

## 1.6 DE L'EVOLUTION EN MARCHÉ

Les effets de l'évolution sur des périodes de plusieurs millions d'années sont à présent flagrants, mais sont-ils suffisamment parlants pour des publics non scientifiques, en termes d'évolution constamment en marche ?

Voici 4 exemples qui permettent de matérialiser l'évolution :

- En 1935, des cultivateurs australiens de canne à sucre en proie avec un coléoptère nuisible qui ravageait leur production, ont introduit 102 crapauds de la canne, une espèce des îles Hawaï. Ces crapauds, censés se nourrir des scarabées, n'ont en fait jamais donné les résultats espérés dans cette lutte biologique. Ils ont par contre proliféré : Ils sont à présent estimés à 200 millions jusqu'aux bords mêmes de la ville Darwin (hi, hi !) où, comme souvent, ils ont supplantés les espèces de crapauds endémiques).



Vis-à-vis de ses prédateurs potentiels, le crapaud de la canne, comme d'autres batraciens, possède des glandes sécrétant une toxine, capable d'expédier un chien au paradis canin, en moins d'un quart d'heure.

Des scientifiques ont montré que des prédateurs naturels des crapauds comme des serpents, ont évolué avec l'arrivée de ces nouveaux colonisateurs. En effet, depuis 1935, année d'introduction des crapauds, en 70 ans soit en moins de 20 générations de serpents, une double adaptation s'est effectuée chez ceux-ci :

- *Morphologique* : allongement du corps donc de la masse corporelle pour acquérir une meilleure résistance à la toxine. Diminution de la taille de la tête du serpent pour focaliser les captures d'amphibiens de plus petite taille, moins toxiques.
  - *Physiologique* : tests comparatifs d'augmentation de résistance à la toxine positifs pour les seuls serpents des régions où le crapaud de la canne était présent.
- Des expériences similaires ont été effectuées chez les plantes en divisant en deux touffes des marguerites ou des topinambours issus d'une région de plaine et en plantant l'une d'elle en région montagneuse. Les individus formés restent alors grands en plaine mais petits en altitude (nanisme d'adaptation au froid).
  - De nos jours il est devenu facile de voyager d'un continent à un autre et le naturaliste de terrain aura vite fait de remarquer les homologues flagrantes entre des espèces animales issues d'un même ancêtre commun et qui ont évoluées indépendamment sur leurs continents respectifs. (ex : Canard siffleur d'Europe / Canard siffleur d'Amérique qui possède de petites différences).
  - Les auteurs de Curionat ont découvert récemment des similitudes flagrantes existant dans la famille des Equidés d'Afrique avec, par exemple, l'âne sauvage qui possède des rayures sur ses pattes blanches, homologues à celles des Zèbres et, une espèce de Zèbre (le Couagga) qui a quant à lui moins de rayures que les autres Zèbres, mais un pelage bai comme celui des chevaux, et des pattes blanches : bref une image hybride parfaite entre un cheval et un zèbre !

*En savoir plus :*

*Le ver qui prenait l'escargot pour taxi et autres histoires naturelles - Jean Deutsch- Science ouverte - Editions Seuil. Octobre 2007.*

*\*\* Guide des mammifères d'Afrique - Jonathan Kingdon- Editions Delachaux et Niestlé septembre 2010*

## **1.7 DE LA DYNAMIQUE DE L'EVOLUTION**

L'adaptation d'un organisme est sa capacité à modifier son comportement pour obtenir une meilleure adéquation à son environnement, ceci en coexistence avec d'autres organismes avec lesquels il est en interaction. Elle aboutit sur le long terme, à l'augmentation de la diversité et de la complexité du vivant (bactéries unicellulaires > organismes multicellulaires > mammifères > cerveau humain > cortex du ministre de l'environnement et des catastrophes non naturelles !)

Le moteur évolutif peut ainsi être envisagé de manière réactionnelle, à la lumière d'un cas d'école, celui d'un papillon de nuit du royaume uni, désormais célèbre, **la Phalène du bouleau**. Ce papillon possède normalement une couleur claire, c'est sa forme «typica». Avec la pollution apparue au 19<sup>ème</sup> siècle en Angleterre en liaison avec l'industrie du charbon, les bouleaux de la périphérie des villes industrielles, normalement blancs, se sont progressivement recouverts de suie, leurs troncs et leurs branches se sont donc noircis. Les entomologistes ont vu apparaître pour la première fois en 1848 une autre forme de ce même papillon, quasiment noire, baptisée forme «carbonaria». Cinquante années plus tard, cette forme est devenue majoritaire (98% des formes) autour des cités mais pas dans les campagnes avoisinantes.

Quelques centaines d'années plus tard, une réduction de la pollution à la suie a fait baisser la population des papillons foncés dans les villes, au profit des clairs.

L'origine de ce phénomène serait la pression de la sélection naturelle dans l'environnement des troncs d'arbres noircis par la suie au XIX<sup>e</sup> siècle, et sur lesquels les papillons se posent le jour. Les insectes mutants

ayant acquis une couleur foncée sont cachés à leurs prédateurs naturels que sont les oiseaux. Les papillons clairs, davantage repérables quant à eux, disparaissent. Il s'agit d'un mélanisme typiquement industriel qui favorise l'expression du gène unique qui commande le changement de phase en codant pour la sécrétion de mélanine, le pigment colorant les ailes en noir.

Dans ce cas, c'est un coup de pouce du hasard, infligeant une contrainte (perturbation climatique, géologique, météorite, maladies, pollution humaine, etc.), qui semble être le moteur de l'évolution de nouvelles espèces.

Il est intéressant de noter que plus le turn over entre les générations est rapide (comme les bactéries et le virus), plus le nombre d'individus sur lesquels les mutations peuvent intervenir augmente, et plus le tri des souches mieux adaptées au nouvel environnement est rapide et donc plus l'organisme est adaptable, au contraire des espèces à reproduction lente. Les auteurs de Curionat vous recommandent sur ce sujet de vous amuser avec le logiciel pédagogique de modélisation de l'évolution (par dérive génétique d'une population théorique). Celui-ci est téléchargeable gratuitement via Google en tapant « logiciel de modélisation allélique de Philippe Cosentino ».

Indépendamment de ces adaptations initiées par la pression de sélection, l'observation de l'évolution Inter-espèces, au cours des millénaires, évoque l'existence d'autres mécanismes d'émergence des mutations.

Après l'époque Cambrienne (550 MA), l'explosion de la diversité du vivant est apparue avec l'arrivée des substrats nutritifs. Elle a vu la création dans tous les sens de nombreux phyla (embranchements d'organismes très différenciés), qui correspondent à des mutations majeures. De ces phyla nombreux du Cambrien, seuls 35 sont arrivés jusqu'à nous : Arthropodes (crustacés), Echinodermes (oursins), mollusques, chordés (comprenant les vertébrés), etc. Ensuite, après la crise ultérieure du Permien-Trias (250 MA), un rebond de vie est apparu, mais tout s'est déroulé alors sans création de nouveau phylum. Seules de nouvelles espèces, familles, ou ordres, sont apparus, n'apportant que des modifications mineures à ces phyla initiaux, semblant définitivement verrouillés. Grâce aux découvertes récentes de la génomique, on sait que le passage d'une organisation de type plan insecte à celui d'un vertébré, ne fait intervenir, sur une structure embryonnaire, que 4 gènes (de type Hox). Les mutations précoces du développement qui engendrent les nouveaux phyla sont en fait confinées très tôt dans l'embryogénèse et s'enchaînent ensuite sans aucun lien apparent avec leur environnement.

Il est évident que, globalement, le nombre d'espèces existantes ne constitue qu'un sous-espace très restreint de celui des animaux théoriquement créables par le fruit des mutations aléatoires. Un processus d'orientation contribue donc à réduire considérablement le nombre de possibilités retenues comme pérennes, la nature n'ayant pas eu matériellement le temps nécessaire pour multiplier à l'infini les essais aléatoires de mutations, triées ensuite par la sélection naturelle. Des **convergences évolutives** entre espèces distinctes qui ont adopté les mêmes stratégies évolutives, ont probablement réduit les ramifications théoriquement possibles de l'arbre évolutif.

Un autre paradoxe est la comparaison chronologique de certains critères comme la taille des espèces, qui montre l'existence de discontinuités dans les cycles évolutifs, avec des paliers associant des périodes de longues stases durant lesquelles l'évolution semble arrêtée, entrecoupées de brefs espaces où l'évolution est très rapide. Or, pendant ce temps, le taux des mutations mesuré par les différences entre séquences d'acides aminés, conserve, lui, une pente constante.

Pour tenter d'apporter une explication commune capable de solutionner tous ces paradoxes, la rythmique des mutations a été testée grâce à des modélisations mathématiques que l'on appelle des automates cellulaires et pour lesquels il est possible de simuler une évolution génétique, en se souvenant que, dans la nature, tout gène présent chez un individu, n'est pas forcément exprimé en tant que phénotype et surtout de phénotype unique :

L'expression d'un gène sous la forme d'une protéine passe par le recopiage du gène en ARN (transcription) qui sert à son tour de moule (traduction) pour la fabrication de la dite protéine. Au final, le produit de cette réaction est un caractère observable (phénotype = type moyen observé dans une population possédant le même génotype : ensemble de gènes) par exemple, la couleur de la peau à partir du gène codant pour la protéine mélanine qui apporte le noir.

Or l'expression d'un gène peut être réprimée par celle d'un autre gène émettant des protéines de répression, ou au contraire activée. Le génotype n'exprime donc pas obligatoirement un phénotype et s'il le fait,

ne détermine pas **un** phénotype unique, mais un champ de phénotypes potentiels, en fonction de l'environnement, c'est-à-dire un **répertoire plastique** de réactions possibles.

Le résultat des simulations mathématiques qui tentent d'analyser la mécanique du vivant, montre que la rythmique de l'évolution, compatible avec les observations citées plus haut, n'est en définitive ni continue (Théorie Darwiniste), ni par palier (Néodarwiniste). Elle obéit en fait aux mêmes lois physiques que celles qui régissent l'inorganique dans les **transitions de phases** (comme les phénomènes critiques de passage de la glace à l'eau) et pour illustrer cette notion, jouons aux chaises musicales dans un jeu de la vie.

Grâce à l'ordinateur, seul capable de tester un nombre astronomique de situations possibles, on peut simuler l'évolution d'une population d'organismes virtuels dont le génome est constitué par exemple de 6 gènes. Chaque gène peut s'activer ou se désactiver à la manière d'une ampoule (allumée = 1 ou éteinte = 0) et ceci en changeant d'état toutes les dix minutes (durée estimée d'activation d'un gène in vivo).

Des règles d'expression des gènes en fonction de l'état des autres gènes sont prédéfinies. Par exemple, si un gène est dans l'état 1, il passe à 0 si moins de deux ou plus de trois de ses voisins sont à 1 ; sinon, il conserve son état.

Comme dans le jeu des chaises musicales, on fait le bilan à chaque top, lorsque la musique s'arrête : on recalcule alors la valeur de chaque gène (1 ou 0) en fonction de celle des autres, comme dans la vraie vie où les gènes d'une cellule sont en interaction et élaborent des protéines autorisant ou non l'expression des autres gènes présents. La mutation d'un gène de 0 à 1 sera favorisée si elle conduit à augmenter l'adaptation globale de l'organisme parmi toutes les solutions explorées d'interactions entre les gènes. Elle sera d'autant plus sélectionnée qu'elle se situera sur un **pic global d'optimisation** de l'organisme entier et non seulement sur un pic secondaire, dit alors, local.

Dans un réseau simulé comportant 6 gènes, l'état de chaque gène peut être dépendant des 5 autres (ce qui donne  $2^6$  génotypes = configurations possibles à explorer à chaque cycle) ou au contraire, dépendant d'un seul autre gène. Les génomes (état des 6 gènes à un instant T) qui en résulteront seront soit détectables (lorsqu'ils seront répétés de manière régulière à la manière de séquences lumineuses s'éclairant à un rythme régulier), soit aveugles, lorsque le réseau se perdra dans le dédale d'un nombre astronomique de configurations possibles et ne pourra pas reproduire plusieurs fois de suite une même configuration adaptative.

Dans le cas d'une séquence détectable, on parle de **stabilité et de comportement ordonné du réseau**, et donc de maintien d'une population au cours du temps, et dans le cas d'absence de séquence détectable, on parlera de **comportement aléatoire ou chaotique**. Celui-ci sera sensible à la moindre perturbation mineure portant sur 1 seul gène, et qui se propagera à l'ensemble du réseau, déstabilisant totalement sa dynamique.

Pour illustrer la notion de chaos, nous vous emmenons à la **chasse aux mouches** ! Des neurobiologistes ont analysé la réaction des mouches et montré que leur cerveau est capable d'adopter un comportement de « non linéarité instable », proche du chaos au sens mathématique. Ce trait adaptatif donne l'avantage à cet animal face à vous, gros méchant(e) armé(e) d'une tapette ! Vous serez en effet souvent surpris par le caractère imprévisible de la trajectoire d'envol de la mouche, qui n'a pourtant rien d'aléatoire !

La zone frontière entre l'ordre et le chaos est une transition de phase et les **systèmes vivants les plus adaptatifs** sont donc ceux qui fonctionnent dans un régime ordonné, très proche de cette zone de transition entre l'ordre et le chaos. Là, la perturbation (par une cause environnementale X) de l'état (allumé ou éteint) d'un gène, ou de quelques gènes, peut se propager (l'innovation est donc acceptée), mais ne bouleversera pas l'équilibre général du système, qui restera coordonné (chaque petit cluster naissant restant déconnecté des autres).

Si l'on modélise à présent sur un réseau à 6 gènes, 4 états possibles (comme dans la réalité) pour les lois de connexion des gènes (= allèles) : ET / NON-ET / OU / NON-OU (codés respectivement 0,1,2,3), on obtient alors  $4^6$  soit 4096 génomes possibles. Après avoir lancé la simulation de comportement évolutif des populations d'organismes virtuels, on constate qu'au cours d'une première période, une population prédomine et croît rapidement, accompagnée de 2 populations voisines minoritaires, le tout restant stable (d'autres espèces mutantes surgissent mais sont vite éliminées car elles finissent piégées dans des optimums localisés d'adaptation). On est là dans une phase de stase, figée. Puis, de manière imprévisible, une espèce mutante apparaît et prend la place des espèces présentes (dont elle n'est autre que l'optimum global) ; ces dernières deviennent alors fossiles : sniff !

Même si aucune simulation n'est en mesure actuellement de reconstituer l'évolution du vivant de A à Z c'est-à-dire de prévoir que les poulets sont des Oiseaux qui sont arrivés sur terre parce qu'ils devaient arriver et fournir des chicken nuggets, les automates cellulaires montrent que des causes simples peuvent aboutir à des

répercussions complexes mais compatibles avec les différents niveaux d'observations de l'évolution sur le terrain. Ils ne constituent cependant qu'une toute petite clé ouvrant l'une des nombreuses portes de la connaissance du vivant.

En 2011 les travaux d'A. Abzhanov viennent de démontrer qu'outre la présence des **gènes architectes** connus depuis les années 1980, communs entre les espèces et qui dictent le développement embryonnaire des plans de construction des organismes : le thorax, la tête, les ailes et les membres, existent également des **gènes géométriques**, qui eux, déforment ces plans de construction, et cela s'exerçant également au stade embryonnaire.

Cette découverte révèle qu'à partir d'un moule commun d'un bec d'oiseau par exemple, il est possible de créer toutes les formes de becs existantes, par la mise en œuvre grâce à ces gènes géométriques de transformations géométriques réduites à 2 opérations simples de géométrie euclidienne : **l'homothétie et la transvection**.

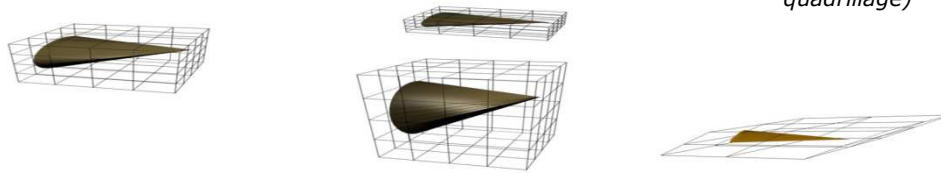
*Bec de départ*

*Evolution de forme par homothétie*

*Evolution par transvection*

*(Agrandissement ou rétrécissement du quadrillage)*

*(Inclinaison des lignes du quadrillage)*



Comme l'a montré cet auteur à l'aide d'un scanner tomographique, l'homothétie (qui agrandit) et la transvection (qui incline les formes), toutes deux régies par un mécanisme génétique codant notamment pour une protéine Bmp4 produite au cours de l'embryogénèse, expliquent la diversité de formes des becs des 13 espèces de pinsons des Galápagos qui avaient interpellé Charles Darwin.

Lorsque le degré d'expression de ces gènes change, la forme du bec se modifie pour s'adapter à l'environnement. En effet, sur les Iles volcaniques (à point chaud) apparues donc chronologiquement les une après les autres, comme le sont les Galápagos, chaque île subit une colonisation végétale et animale progressive : les plus récentes n'ont que des Lichens et les plus anciennes des plantes à graines. Ainsi les pinsons ont vu leur bec s'adapter à la consommation de graines (becs larges et courts) sur les îles possédant cette flore ou à celle d'insectes (becs long et fin) sur des îles en hébergeant.

Pour refermer ce chapitre, faisons le bilan actuel du monde vivant et sachons qu'ont été recensées plus de 2 millions d'espèces animales, avec 60 000 vertébrés (dont 17 000 de mammifères, 4000 d'amphibiens ...). Chez les invertébrés, c'est plus d'un million d'espèces d'insectes et probablement encore 500 000 autres qui restent à découvrir, 70 000 d'araignées, 70 000 de mollusques et 40 000 de crustacés. S'y ajoutent aussi les 17 000 nouvelles espèces recensées par an, ainsi que les 400 000 espèces de plantes dont 250 000 à fleurs et de microorganismes découvertes. Si l'on ne prend qu'une seule espèce vivante comme Homo sapiens, qui comporte à elle seule  $10^{14}$  cellules, 30 000 gènes à « gérer », ce qui donne en simplifiant au maximum les choses,  $2^{30\,000}$  combinaisons génomiques possibles pour bâtir les 256 types de cellules humaines différentes, reconnaissons que la main divine, si elle existe, doit posséder des capacités de calcul mental réellement surnaturelles !

*En savoir plus :*

*Les systèmes complexes ; mathématiques et biologie- Hervé P Zwirn - Editions Odile Jacob sciences. Octobre 2006.*

*Au fond du zoo à droite - Edouard Launet - Editions sciences ouvertes Seuil. Janvier 2009*



## **PARTIE 2 : LIENS SOCIAUX ET EVOLUTION**

### **2.1 DE L'ORGANISATION SOCIALE POUR LA REPRODUCTION**

Les comportements sexuels et plus généralement sociaux des animaux constituent des stratégies adaptatives au sens de l'évolution où interviennent là aussi des facteurs environnementaux comme la disponibilité aux sites reproducteurs et aux ressources conditionnant l'élevage de la descendance.

Parmi ces stratégies adaptatives, chez les espèces animales sexuées, les régimes d'appariement sont ainsi très variables. Allant du zéro contact physique entre les partenaires comme chez les oursins (sage précaution chez cette espèce piquante, pour conserver intacte de quoi assouvir sa libido !), jusqu'à l'établissement d'un lien social plus ou moins pérenne (poly et monogamies), ou encore par un contact restreint au seul acte copulatoire.

Cette apparente variabilité est supportée par une logique simple au sens évolutif qui s'adapte ensuite à l'environnement de chaque espèce : c'est celle de la survie à long terme d'un patrimoine génétique individuel, dont chaque être vivant n'est que le dépositaire temporaire.

Entre les sexes, la stratégie reproductive est différente :

- chaque **mâle**, qui produit des gamètes de petite taille en très grand nombre (les spermatozoïdes), est capable de féconder un nombre d'ovules très supérieur à ce que chaque femelle peut produire. Au sens évolutif, le mâle augmentera donc ses chances de transmission de ses gènes en multipliant le nombre d'inséminations de femelles différentes. C'est la raison pour laquelle, ce sont les mâles qui vont à la rencontre des femelles avec une seule idée en tête, la polygynie !
- les **femelles** elles, produisent des ovules, mais en quantité infime par rapport à la gamétogénèse des mâles. La pérennité d'un gène porté par l'ovule est assurée par la semence d'un seul mâle, très suffisante pour féconder tous les ovules. Côté femelle, le succès reproducteur n'est donc pas limité par l'accès quantitatif aux mâles mais par l'accès aux ressources pour l'élevage des jeunes. Les femelles sont donc plus sélectives dans le choix de leurs partenaires et exigent pour cela des garanties de la part du mâle :
  - **Courage** : aptitude à défendre le territoire pour protéger la descendance et s'octroyer des ressources alimentaires suffisantes pour la nourrir.
  - **Santé** : par un plumage éclatant de couleurs, que seuls des individus non parasités peuvent posséder, les mâles d'oiseaux (comme les paons, les canards en période reproductive...) affichent l'équivalent d'un certificat de bon état sanitaire.
  - **Force** : pour fournir l'effort parental correspondant à l'apport des ressources alimentaires (capture et transport de proies) ou à la construction du nid/terrier.
  - **Zèle** : offre d'un cadeau pré-nuptial (poisson chez les grèbes, insecte chez les guêpiers).

Les régimes d'appariement sont tributaires d'une logique économique d'accès aux ressources :

- les femelles des phoques qui se reproduisent sur la banquise ont à leur disposition tout l'espace pour mettre bas et sont donc éparpillées. Les mâles sont alors appariés selon un régime monogame. En revanche, les femelles des espèces de phoques qui se reproduisent dans des zones plus tempérées sont contraintes à mettre bas sur des îlots rocheux inaccessibles aux prédateurs terrestres, comme marins. Les femelles se concentrent ainsi sur les rares îlots conjuguant cette double caractéristique. Les mâles les plus combattifs imposent alors un régime de polygamie à un harem de femelles.
- les mâles des libellules agrions contrôlent eux aussi l'accès des femelles aux territoires de ponte (cours d'eau oxygénés) sous ce même régime de polygynie.

**La monogamie est un régime d'appariement assez rare** dans la nature (par exemple seulement 5 % des espèces de mammifères) sauf chez les oiseaux où elle concerne 95% des espèces. Elle s'exprime de manière seulement temporaire (pour une ou quelques saisons reproductives) ou définitive (jusqu'à la mort d'un partenaire). Désolé pour les romantiques, cette fidélité stricte au partenaire, comme chez les oiseaux marins, fous de bassan et albatros, correspond davantage à une fidélité à un site stable de reproduction que constitue l'îlot rocheux, qu'à un amour indéfectible ! Il a été montré que chez les flamants roses, qui ont une longévité équivalente à celle de ces oiseaux marins, les mâles et les femelles flamants s'en tiennent au CDD (contrat « de mariage » à durée déterminée) ! Ils ne convolent que pour une seule période de reproduction car leurs sites de ponte sont situés sur des îlots sablonneux instables et inondables, donc non réutilisables chaque année. (il semble cependant qu'un facteur affecte depuis peu ce comportement théorique chez les flamants roses camarguais)

Comme dans tous les aspects de l'évolution, le régime d'appariement d'une espèce n'est jamais figé et évolue en fonction de la structuration de ressources de l'environnement. Si cela constitue une bonne nouvelle pour vous lecteurs, bénissez cette nouvelle discipline qu'est l'écologie comportementale, qui abrègera sans délai votre impatience à la lueur de ses futures découvertes ! Gageons seulement qu'elle ne substitue pas trop vite à la théorie évolutive favorisant les individus les plus aptes à se reproduire, celle de l'altruisme :

Songez ainsi à cet admirable pic d'évolutivité chez les insectes sociaux, qui consacre la stérilité d'une majorité d'individus d'une colonie pour se mettre au service total de la reine et des larves, produits de leurs proches parents. Ainsi, plutôt que de se fatiguer en vain à se reproduire soi-même par voie sexuée, il est bien plus rentable pour transmettre ses gènes, de copier les fourmis stériles, élevant des larves parentes sur les notes d'une berceuse transcrite d'un récitatif de castrat italien : une fourmi femelle transmet en effet 1.5 fois plus de gènes en aidant sa génitrice à élever des larves qui lui sont apparentées, qu'en se reproduisant elle-même pour nourrir ses propres descendants ! Le renoncement à la sexualité est en réalité déterminé dès le stade larvaire par les nourrices en fonction des besoins de la colonie. L'attribution d'une larve à une caste (ouvrières asexuées, soldats, individu sexué), se fait par le contenu de son alimentation (phéromone royale qui inhibe le développement ovarien des ouvrières). Si votre nounou vous apportait le petit déjeuner au lit quand vous aviez 5 ans avec des tartines de miel, alors consultez rapidement un sexologue... !

*En savoir plus :*

*Les sociétés animales : lions, fourmis et ouistitis - Franck Cézilly. Luc Alain Giraldeau. Guy Théraulaz - Editions le Pommier- Presses de la cité. Septembre 2006*

*Les clés de la communication animale. Anne Teyssèdre. Illustrations Cécile Aquisti- Editions Delachaux et Niestlé. Septembre 2006*

## **2.2 DE L'EVOLUTION DES COMPORTEMENTS INDIVIDUELS VERS L'INTELLIGENCE COLLECTIVE**

Le comportement social observé chez des espèces comme les insectes sociaux, peut être considéré comme la **résultante des processus de sélection naturelle exercés sur les comportements individuels** et exprimés par le partage des tâches ou la synchronisation d'activités pour un maximum d'efficacité. L'ensemble aboutit à des sociétés totalement adaptatives sur le plan collectif, dotées d'une réactivité et de propriétés émergentes qui dépassent largement les capacités cognitives de chacun des individus.

C'est ainsi que des fourmis, bien que dénuées de toute vision panoramique du territoire où elles vivent, s'avèrent capables de pourvoir avec une aptitude remarquable à l'approvisionnement de la colonie, au gré de l'évolution permanente des sources de nourriture disponibles. Lorsqu'une fourmi ou une termite découvre une source de nourriture, elle revient sur ses pas et marque doublement (aller et retour) le chemin parcouru avec une phéromone spécifique, et ceci en contrôlant précisément la quantité d'hormone déposée et la fréquence de ce dépôt sur le sol ; parmi toutes les fourmis en prospection, la première dont le trajet doublement marqué l'a ramené à la fourmilière, signe le record de distance la plus courte à la source. Cette route sera alors empruntée immédiatement par ses congénères partant à leur tour « en course ». Elles renforceront progressivement le marquage olfactif de la piste, amplifiant l'information jusqu'à l'épuisement du butin suivi de l'évaporation concomitante de la piste olfactive, qui se tarit. Au final, grâce à un comportement individuel simplissime, le choix collectif sera parfaitement efficace, décrit comme une véritable « intelligence collective ».

Ce type d'intelligence en essaim a fait l'objet de modélisations mathématiques qui intègrent de puissants algorithmes d'optimisation de processus industriels comme les routages des paquets d'information via les réseaux Internet, et les volets logistiques attachés aux tournées des circuits de distribution. L'avantage de ces modélisations est leur robustesse (la défaillance d'un composant impacte peu sur le résultat collectif), leur souplesse (flexibilité au changement) et leur besoin réduit en supervision (émergence spontanée d'un comportement global).

Avec la taille croissante d'une colonie, une autre propriété de la mécanique évolutive de l'auto-organisation émerge : c'est la **division du travail**. Chez des guêpes sociales, on observe que dans les petites colonies, où les tâches fluctuent beaucoup mais avec peu de volume de travail affecté à chacune, chaque individu travaille autant que ses congénères avec une productivité moyenne mais des compétences de généralistes.

Lorsque la colonie croît en effectifs, une scission intervient qui fait cohabiter une moitié d'hyperactifs et une moitié d'inactifs ! Ce phénomène est lié aux stimuli extérieurs qui déterminent le passage à l'action d'un individu : une guêpe sera d'autant plus sensible à réagir pour exécuter une tâche, en réponse à une faible variation d'un stimulus de son environnement, qu'elle est sollicitée souvent pour le faire. L'émergence d'un groupe hyperactif pour l'exécution d'un travail le verra se spécialiser dans des tâches qui ici représentent des volumes plus importants mais avec des fluctuations plus faibles que dans les petites colonies. La spécialisation d'individus augmente leur performance et apporte à ces colonies importantes toute la productivité nécessaire. L'émergence de colonies importantes d'individus engendre de nouveaux besoins en termes de coopérativité : la communication et la tolérance inter individus !

La sélection naturelle induit aussi **la spécialisation** par l'optimisation de l'utilisation des ressources.

Imaginons 3 espèces d'animaux herbivores possédant 3 tailles différentes (H1 H2 H3), qui partagent un pâturage où poussent en quantité limitante 3 espèces de plantes de tailles différentes (P1 P2 P3). Chaque espèce d'herbivore peut se nourrir d'un certain éventail d'herbes adapté à sa taille, mais avec un chevauchement (H1 consommera préférentiellement P1, mais aussi P2, etc.).

Les espèces extrêmes du point de vue de leurs caractères en face des écosystèmes (H1 et H3) seront privilégiées sur le plan évolutif et se multiplieront sans se gêner en mangeant à leur guise, ceci au détriment de l'espèce intermédiaire H2, qui devra partager sa pitance, en compétition avec H1 et avec H3.

Au regard du critère d'exploitation des ressources, la sélection favorise donc au final la divergence des caractères.

Aussi, chers lecteurs, adeptes des enseignes de restauration rapide qui brillent comme on le sait par la diversité de leurs menus à la carte, ne fragilisez plus votre capital évolutif !

### **PARTIE 3 : LIENS DE FILIATION ENTRE LES CELLULES**

Une analogie flagrante existe entre l'organisation des colonies animales et celles d'un organisme pluricellulaire comme notre corps, qui associe des cellules spécialisées par organe, au sein d'un ensemble totalement coordonné à partir d'unités individuelles.

Pour former les organismes, les cellules sont orientées dans une voie de différenciation par la mise en activité de gènes spécifiques. Ceux-ci élaborent des composés propres à une lignée de cellules, qui influencent le développement des cellules voisines.

La bactérie *Escherichia coli* possède dans son ADN des gènes (opéron lactose, découvert par Jacob et Monod) qui fabriquent les 3 enzymes permettant d'utiliser le lactose comme substrat nutritif. Or cette fabrication n'est mise en route qu'en présence de lactose dans le milieu de vie de la bactérie. En l'absence de lactose, le groupe de gènes est réprimé et les enzymes correspondantes ne sont pas fabriquées. La bactérie s'adapte donc à son environnement grâce à l'action de ce régulateur activant ce gène.

En réalité l'action d'un régulateur donné n'est pas spécifique d'un gène. Elle peut intervenir sur un grand nombre de sites dans l'ADN avec une probabilité de déplacement du régulateur à la rencontre de plusieurs gènes, qui dépend de l'éloignement et de l'accessibilité de ceux-ci, ainsi que de la stabilité de la liaison gène / régulateur.

L'interaction d'un régulateur et d'un gène se traduira par la fabrication (ou la répression) de la protéine correspondante (exemple : l'enzyme d'utilisation du lactose, ou une enzyme de transfert du phosphore sur des protéines), événements qui différencient au final le type de cellule.

La **probabilité de transition d'un régulateur** entre 2 gènes constitue la caractéristique maîtresse de la **différenciation cellulaire** : en effet, la position des gènes sur l'ADN définit la chronologie d'expression de ceux-ci, donc les types cellulaires successifs apparaissant au cours du développement de l'embryon, ainsi que la quantité de cellules produites de chaque type : plus la probabilité de transition d'un régulateur sur un gène est forte, plus la quantité de cellules différenciées sur la base de ce moule, sera grande.

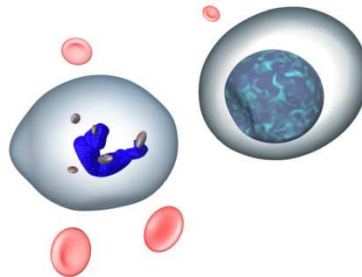
La séquence d'ADN ne contient donc pas un programme prédéterminé, mais plutôt une « cagnotte », dont le « tirage » suit les lois physicochimiques et celles de la statistique entre des régulateurs présents en quantité limitée par rapport aux gènes avec lesquels ils peuvent interagir. **L'expression des gènes est donc aléatoire et non préconçue. Le génome ne détermine pas tout car l'environnement cellulaire intervient** par une sélection ultérieure qui va ne retenir que les seules innovations utiles : les cellules voisines adressent des messages par l'intermédiaire des molécules fabriquées par cette cellule, et qui diffusent d'une cellule à l'autre. On peut citer les enzymes qui procurent de l'énergie aux cellules en coupant des liaisons entre des atomes de phosphore mais qui servent aussi à leur tour de régulateur d'expression des gènes pour les cellules voisines, permettant de stabiliser un phénotype de cellule différenciée lorsqu'il s'avère viable au regard des besoins de la cellule, et ceci parmi toutes les combinaisons possibles.

En fait, ces enzymes de phosphorylation qui servent ainsi de régulateurs dans la différenciation cellulaire ne sont autres que les enzymes universelles qui participent au métabolisme global de **nutrition** de la cellule.

La différenciation cellulaire est donc, du point de vue évolutif, une **extension de la sélection naturelle au sein même d'un organisme**, correspondant à **l'adaptation de la cellule à son proche environnement nutritif**.

Les couches de cellules coopèrent dans un micro écosystème, en utilisant les produits du métabolisme des cellules voisines. Et les cellules de nos organismes, aussi sophistiqués qu'ils soient, fonctionnent en fait avec les mêmes mécanismes que ceux des vils microbes, parasites et autres virus !

La « chaîne de notre moelle osseuse si l'agent pathogène, qui fait un élément nutritif



montage » des globules blancs dans augmentera sa cadence de production sert de cible au globule, constitue en dont ce dernier tire bénéfique.

Des cellules cancéreuses perdent leur spécialisation d'organe et leur sélectivité métabolique ; elles adoptent un comportement nutritif généraliste induisant la formation de vaisseaux sanguins pour détourner les ressources à leur profit et se développer seules, ne dépendant plus de la coopération des cellules voisines. Elles induisent l'expression de nombreux facteurs de coopération cellulaire dont certains sont détectables dans le sang (pro PSA pour le cancer prostatique par exemple).

Il est important de préciser ici que les mutations du matériel génétique surviennent, elles, indépendamment de toute adaptation au milieu et que par ailleurs les gènes ne sont pas toujours actifs, ceux qui interviennent au cours du développement embryonnaire, ne s'expriment que pendant cette phase.

*En savoir plus :*

*Ni Dieu Ni gène : Pour une autre théorie de l'hérédité. Jean Jacques Kupiec et Pierre Sonigo. Collection Sciences - Editions du seuil Mars 2003.*

#### **PARTIE 4 : SYMETRIES ET EVOLUTION**

Les organismes vivants présentent souvent une **symétrie bilatérale** comme celle d'un visage, ou une **symétrie de rotation** majoritairement **pentagonale** chez les végétaux, comme les pétales de fleurs des rosacées, plus rarement hexagonale comme celle des alvéoles des ruches, des radiolaires (zooplancton) et des yeux des libellules, et enfin une géométrie icosaédrique pour des virus.

Ceci n'est pas un hasard car l'évolution sélectionne chez les animaux supérieurs les individus possédant des phénotypes morphologiques les plus symétriques possibles pour maximiser les chances de survie. En effet l'asymétrie est corrélée à un risque de prédation et de parasitisme. Une corrélation entre symétrie et faculté de trouver un partenaire sexuel a été aussi prouvée chez de nombreuses espèces.

Cette évolution vers la symétrie, qui n'est autre que la répétition plus ou moins complexe d'un même motif dans l'espace, est la traduction d'une tendance naturelle à l'invariance morphologique.

La plus simple, de type translationnelle par exemple, voit un caractère reproduit à plusieurs exemplaires dans une direction donnée, comme les segments corporels répétés d'un mille-pattes. Un autre exemple d'objets invariants par transformation d'échelle, dans des directions différentes cette fois, est constitué par les fougères, l'un des nombreux végétaux que l'on peut parfaitement modéliser via un calcul mathématique de type objet fractal, ou par des fonctions itérées de type Lindenmayer.

**L'organisation hexagonale**, rencontrée chez certaines espèces du monde vivant, lue au crible de la sélection naturelle, permet de remplir l'espace de façon régulière et économique. Dans le monde minéral, la cristallisation des roches volcanique type "orgues basaltiques" adopte aussi cette même forme hexagonale



parce qu'elle constitue l'optimum physique lors du refroidissement des roches. Les structures fabriquées par l'homme et baptisées "en nid d'abeille" ou, "nida", possèdent des propriétés de résistance mécanique remarquables : l'industrie a développé ces matériaux légers et résistants, qui ont beaucoup d'applications comme pour fabriquer des planchers d'avions.

Des **symétries au sein de spirales** se rencontrent dans des coquilles d'escargots et de coquillages (spirales logarithmiques des ammonites, du nautilus, des cornes de mouflons). Cette même organisation existe aussi dans des graines (pommes de pins, marguerites, tournesol, ananas, chou romanesco) et encore dans la répartition spatiale des ocelles (faux yeux pour effrayer un prédateur) des plumes caudales du paon !

Au sens mécanique, comme évolutionniste, la spirale est la solution idéale pour utiliser le minimum de matière et, en se développant, pouvoir modifier sa taille tout en conservant la même forme, elle offre aussi une grande résistance mécanique à la pression. Chez les escargots, la croissance s'effectue par la formation d'une nouvelle cellule de même forme que la précédente, un mécanisme qui engendre nécessairement une spirale.

Pas étonnant que l'on puisse logiquement observer que cette même forme en spirale dans des observations télescopiques de galaxies et par satellite, de cyclones..

Dans les schémas d'organisation en spirale des graines de tournesol ou des pommes de pins comme aussi pour les ocelles du paon, il y a toujours **deux familles de spires qui tournent en sens opposé** : l'un dans le sens des aiguilles d'une montre, l'autre dans le sens inverse.

Or, le nombre de spirales dans le sens des aiguilles d'une montre et celui en sens inverse ne sont nullement aléatoires. Ils coïncident systématiquement avec deux entiers naturels consécutifs de la **suite de Fibonacci**, mathématicien italien qui calcula en 1202 la série consécutive d'entiers, suivante :

1; 1; 2; 3; 5; 8; 13; 21; 34; 55; 89; 144; 233; 377; 610; 987; 1597; 2584; ....etc,  
suite, qui est caractérisée par le fait que chaque nombre, à partir du troisième, est la somme des deux précédents.

Le nombre de spirales : est ainsi de 8 dans un sens et 13 dans l'autre sens pour les ananas;  
et de 21 et 34 chez la marguerite; par exemple.

Cette suite de nombres tend à l'infini vers une valeur remarquable  $(1 + \sqrt{5}) / 2$ , un nombre hautement célèbre connu sous le nom de **nombre d'or** ou encore "divine proportion".

Chez certaines plantes, les attaches des feuilles sur la tige principale forment, vues d'en haut, une hélice. Chaque feuille se positionne par rapport à la précédente par une rotation hélicoïdale d'une fraction de tour suivant un angle constant pour une espèce donnée, tout le long de la tige. Cela vient de ce que l'ensoleillement doit être maximum pour toutes les feuilles et donc que l'angle de deux feuilles consécutives doit être voisin d'un certain  $k$  ième de tour; Or, la encore, les entiers consécutifs de Fibonacci sont les chiffres les plus proches de  $k$  !

Chaque bourgeon est ainsi décalé de  $137,5^\circ$  par rapport au précédent mais le sixième bourgeon n'est en décalage que de  $32,5^\circ$  par rapport au premier. Il se retrouve donc légèrement dans l'ombre du premier et a donc un peu moins accès à la lumière que les autres ; ayant moins de chance de s'épanouir en feuille, il limitera ainsi le nombre de celles-ci à 5 généralement sur une ramure donnée.

*En savoir plus :*

*La nature préfère la symétrie - Anders Pape Møller- La recherche n°304 déc 1997*

*Symétrie dans la nature - G Dhont et B.Zhilinskii- collection libre cours sciences. Presses universitaires de Grenoble- sept 2011*

## **PARTIE 5 : STRUCTURATION DES SOCIÉTÉS HUMAINES**

### **5.1 DE L'INEGALITE DES SOCIÉTÉS**

Depuis l'apparition des pré-hominidés en Afrique il y a 7 millions d'années, de la posture debout il y a 4 MA, des néanderthaliens il y a 100 000 années, des hommes de Cro-Magnon il y a 35 000 ans, puis de notre espèce, la race humaine, comme les moustiques, s'est largement établie sur Terre, mais, quels facteurs évolutifs ont-ils été déterminants dans cette transition du singe à l'homme ?

L'origine des **primates** se situe vers 70 millions d'années ; l'évolution leur permet désormais de saisir un objet et ils disposent en parallèle de meilleures performances de vision. Au sein des Simiformes, apparaît, il y a 22 MA le **Proconsul**, qui n'a déjà plus de queue, et qui est doté pour la 1ère fois d'un conduit auditif externe.

16 millions d'années est la date reconnue qui voit l'individualisation de la lignée des Orangs-outans et de celle des Gorilles.

7.5 Millions d'années voit la séparation de celle des Chimpanzés par rapport à celle des Hominidés dont le plus ancien (Orrorin) a 6 MA et est encore arboricole pour se cacher de ses prédateurs.

En Afrique, selon Yves Coppens, **l'effondrement de la rift valley suite à un mouvement tectonique**, s'accompagne de l'apparition de montagnes à l'est de cette faille synonyme d'un **profond changement climatique coté est, privé de précipitations**. Alors qu'à l'ouest de la faille l'environnement reste humide et arboré, le **milieu se découvre à l'est**, suite à l'apparition d'un régime saisonnier intégrant des périodes de mousson entrecoupées de périodes très sèches qui favorisent la savane. **Les pré-humains** de type Ardipithecus (5.8 MA) bipède arboricole, suivis des **Australopithèques** (avec redressement du corps, complexification cérébrale et mode de parturition devenant ventral, le fœtus devant faire une inversion de position comme dans notre espèce) : Australopithecus afarensis (= Lucy) bipèdes peu arboricoles se séparent alors à 4,2 MA d'Australopithecus anamensis qui est un bipède exclusif, qui n'est donc plus du tout arboricole. Dans cette savane, la bipédie permet de guetter les prédateurs comme les proies. A l'ouest de la rift valley, le climat n'a pas changé, aussi les grands singes n'auront donc pas de raison d'évoluer (par exemple, leur mode de parturition demeurera définitivement dorsal). Cette théorie a été remise en cause par la découverte récente à l'ouest de la rift valley de restes d'un hominidé de 6 MA.

Vers 3 MA, s'effectue la **transition des pré-humains aux humains**, la pression de sélection se faisant là encore à la faveur d'un nouveau bouleversement climatique, encore plus sec. Ainsi, alors que les Australopithèques restent végétariens, le **genre Homo** est sélectionné car plus adaptatif : outre les végétaux, il mange de la viande, se déplace et exploite davantage de sources de nourritures au gré des saisons, il se dote d'une acuité visuelle encore plus performante afin de soustraire aux prédateurs dans un milieu ouvert. Il perd sa pilosité pour augmenter le rendement des échanges thermiques par sudation lors de ses déplacements.

**Homo habilis** (2.5 MA) se déploiera en dehors de l'Afrique et laissera place à **Homo erectus**, lequel migrera entre autre vers l'Europe glaciaire à cette période, vers 700 000 ans, en passant par le proche orient et non par Gibraltar. Il y évoluera génétiquement de manière autonome (*Homo heidelbergensis*), ce continent étant à cette époque isolé par les glaciers. Cette adaptation génétique au froid constituera après évolution vers 200 000 ans **l'Homme de Neandertal** (de la même manière, un Homme de Java est sélectionné dans la niche écologique indonésienne).

*Homo erectus* évoluera en Asie en **Homo sapiens** (400 000 ans) qui, à la faveur d'un léger réchauffement, viendra à son tour s'établir plus tard jusqu'en Europe, où il arrive vers 35 000 ans, sous la forme de **l'Homme de Cro Magnon**, lequel supplantera à terme l'Homme de Neandertal.

**Homo sapiens sapiens** constituera l'évolution ultime (200 000 ans), et l'espèce aboutie dont est très fière d'appartenir la rédaction de Curionat, qui commençait à trouver le temps long... !

On fait un petit bond dans le temps jusqu'au passé récent, celui du dernier millénaire, où l'on note la **domination des civilisations eurasiennes** par rapport aux autres qu'ils ont soumises : africains, amérindiens, aborigènes australiens... On peut alors légitimement s'interroger sur l'existence d'une différence génétique intervenue et expliquant cette domination. Un « gène du gagnant » existerait-il chez les européens ?

On sait par exemple que les yeux bridés chez les populations asiatiques sont liées à la transmission d'un gène « *pregnant* », c'est-à-dire qui a perduré au fil des générations.

L'évolution des autres civilisations aurait-elle été stoppée au stade de chasseur-cueilleur, statut que les aborigènes, les indiens d'Amérique du sud ou encore les pygmées, avaient encore il y a moins de 100 ans par rapport à aujourd'hui ?

Il n'en est rien, car ce sont d'autres causes, écologiques, qui semblent là encore pouvoir expliquer cette évolution inégale.

La zone du Sud de la Turquie actuelle et du croissant fertile (Irak actuel) étaient soumise à un climat méditerranéen tempéré, mais avec de fortes variations climatiques selon les années. Ceci a favorisé l'adaptation de la **flore** en faveur d'un **développement de type annuel** avec mort de la plante en fin de cycle. Ce trait

adaptatif a impliqué pour les céréales de produire des grosses graines capables d'assurer le stockage prolongé pour résister à la saison sèche.

Les populations de chasseurs cueilleurs de ces zones ont progressivement cultivé ces plantes sauvages à grosses graines, endémiques à cette zone ; ils se sont du coup sédentarisés d'abord près des rivières qui leur apportaient nourriture et boue pour les constructions d'abris en briques séchées. Ceci a permis d'accroître la densité démographique des humains, grâce un taux de natalité plus élevé (une mère sédentarisée peut élever plusieurs enfants en parallèle, alors que chez les chasseurs cueilleurs se déplaçant, elles ne peuvent porter plus d'un enfant à la fois) et aussi grâce à la possibilité de stocker des réserves alimentaires (non transportables en masse chez les chasseurs cueilleurs). Ce passage du stade de chasseur cueilleur à celui d'éleveur et d'agriculteur n'est pas dévolu à l'espèce humaine. D'autres sociétés animales l'ont adopté bien avant lui : des fourmis qui élèvent et traitent le miellat des pucerons en leur construisant des abris, d'autres qui cultivent des champignons\* dans des loges construites à cet effet.

\* dont elles nourrissent leurs larves

Les 1eres **cultures** datent d'il y a 1.4 MA jusqu'à **l'agriculture productive** qui est apparue en Europe avec le blé et l'orge dont les premières plantations datent de 8500 av. J-C, suivies des pois en 8000, des olives et de la vigne en 4000 av. J-C. Le labourage, réalisé initialement par l'homme avec un bâton, a été suivi, un millier d'années plus tard, par l'arrivée de la charrue, tirée par des bœufs. Les premiers agriculteurs ont involontairement engagé une sélection artificielle des cultures en choisissant les mutants les plus rentables : ceux à grosses graines, ceux ayant acquis un retard de germination, ceux qui conservaient les graines en place sur les tiges. Le blé sauvage, en effet, voit sa tige se briser spontanément en fin de maturation des grains ce qui permet à ceux-ci de tomber au sol, là où ils peuvent germer. Or la mutation naturelle d'un seul gène du blé, empêche la tige de se briser et laisse les grains en place sur cette tige. L'homme a donc sélectionné inconsciemment les mutants de blé dont la tige ne se casse pas, facilitant ainsi la récolte des grains.

Cette zone du croissant fertile qui hébergeait naturellement les principales plantes sauvages candidates à l'agriculture, a été aussi le siège d'une **domestication progressive des mammifères** qui étaient présents à proximité à l'état sauvage : en 8000 av. J-C : chèvres (bézoards), moutons (mouflons), porcs (sanglier), puis en 6000 av. J-C les bovins (aurochs). Cette disponibilité d'un grand nombre de mammifères sur le continent eurasiatique par rapport aux autres continents résulte sans doute des extinctions de masse intervenues inégalement il y a 13 000 ans (dernières glaciations) : - 80% en Amérique, - 85% en Australie, versus seulement - 36% en Europe.

**L'élevage** a permis de fournir de la viande, du lait, des engrais augmentant les rendements des cultures, du combustible (bouses séchées) ainsi que de la force pour tirer charrues et charrettes de transport. Par ailleurs le cheval (domestiqué en 4000 av. J-C), a constitué un avantage militaire pour le transport rapide des troupes et du matériel et pour donner l'assaut. L'agriculture et l'élevage ont également fournis des fibres (coton, lin, chanvre, laines), ainsi que des peaux (cuir) pour réaliser des vêtements, des toiles (voiles), des cordes, et des filets.

Comme nous l'avons vu chez les insectes, plus la population voit sa densité augmenter, plus la proportion de la population qui se consacre aux ressources alimentaires est mobilisée vers une production intensive qui autorise la création de castes spécialisées (reine, soldats...). Dans le cas des civilisations humaines, l'agriculture associée à l'élevage ont permis l'émergence de non producteurs comme des gouvernants, artisans, bâtisseurs, combattants, religieux, scribes, avec des distinctions sociales entre les castes, de plus en plus marquées avec la structuration sociétale et l'habitat (grottes>huttes>village>villes). Ces facteurs ont favorisé la diffusion rapide des cultures et de l'élevage à partir du croissant fertile dans toute l'Eurasie, d'autant plus vite que ce continent possède la plus grande largeur de climat tempéré (16 000 km versus seulement 5000 km pour l'Amérique) et que le réchauffement climatique de l'holocène a favorisé après la période glaciaire la croissance des céréales en Eurasie.

Pour encore mieux asseoir leur autorité, les chefs de clan se sont attribués les prérogatives de ce qui **amorcera la religion** avec des chamanes s'autoproclamant en dialogue permanent avec les Esprits divins, apportant des réponses à tous les phénomènes inexplicables (maladies, catastrophes naturelles, astrologie..) et en imposant des rites collectifs répétés pour canaliser l'anxiété et renforcer la cohésion du groupe avec les recettes classiques de contrôle des masses (culpabilisations devant une calamité, désignation de boucs émissaires, auto châtements, ..).

Aux techniques de production alimentaire se sont ajoutés la **diffusion de techniques** en rapport avec l'agriculture : la roue (3000 av. J-C) pour le transport, l'écriture (1500 av. J-C) pour la comptabilité, tous les acquis sur cette large bande ont été partagés.

Ainsi et alors que dans le croissant fertile, la sédentarisation s'est produite il y a 9000 ans av. J-C , en raison de l'existence d'une flore et d'une faune originelles propices, en Amérique, les premières traces de village ne sont apparues qu'en 1500 av. J-C ce qui n'est pas étonnant car le passage à pied initial que les hominidés ont franchi au détroit de Behring il y a 10 000 ans, a été recouvert ensuite par les eaux, isolant totalement la branche américaine de l'humanité. La Mésoamérique sera caractérisée par l'absence d'animaux de trait, d'armes métalliques et de charriot de transport à roues.

**Les échanges biologiques** (transplantation des bétails et plantes cultivables) ont permis d'accroître la démographie humaine par la plus grande disponibilité des ressources alimentaires. Cependant, la **sédentarisation** des populations humaines dans une proximité étroite avec les animaux élevés, a favorisé la **transmission des maladies** initialement animales vers les hommes (peste, rougeole, variole). Pour cette dernière, liée au poxvirus, la découverte d'une **immunité** acquise par contamination d'un homme par un virus de la vache, le cowpox, a été à l'origine de la vaccination antivariolique qui a permis d'éradiquer en 1980 cette terrible maladie (elle a aussi donné le nom générique à la vaccination : Vacca = vache).

La transmission des virus et bactéries qui se sont adaptés à l'homme s'est propagée, mais elle s'est produite de manière relativement progressive en Eurasie (à part les pandémies de peste bubonique qui prélevèrent les 2/3 de la population). Ceci a abouti à la sélection d'individus porteurs de gènes de résistance pour certaines de ces maladies, caractéristiques de résistances qui se sont transmises au fil des générations suivantes. En revanche, la transmission brutale de ces maladies (variole, tuberculose) à des populations non immunisées comme l'étaient celle des amérindiens, a été à l'origine de la décimation de 90% de leurs effectifs un siècle après le débarquement des colons espagnols.

**L'exploitation intensive** des forêts et des herbes broutées par les animaux d'élevage , a rendu les régions du croissant fertile semi désertiques et a poussé ses populations originelles à se déplacer vers l'ouest de l'Europe où l'agriculture s'était totalement propagée en seulement 2000 ans.

Des années + 700 à 1100 l' Europe implantera de nouvelles plantes : citron, banane, riz, canne à sucre, épinard, aubergine et coton en provenance d' Asie. Il est en de même du buffle d'eau originaire aussi d' Asie et qui fut amené jusqu'en Italie du Sud où il donne encore aujourd'hui la fameuse "Mozzarella di bufala".

L'influence environnementales liée aux aléas climatiques est aussi bien visible lors d'une période plus récente, celle dite du "petit âge glaciaire", dans les années 1270 à 1645, où en Europe comme en Asie, les périodes de croissance des céréales étant plus courtes, les agriculteurs furent contraints de sélectionner les graines qui germaient plus vite. Une coïncidence temporelle flagrante existe entre l'arrivée de ces périodes de froid et la conquête de la Chine par les Mongols fuyant le nord.

Cette Europe a bénéficié, parallèlement, du flux d'innovations en provenance des sociétés arabes, largement en avance à partir du VIII<sup>ème</sup> siècle en astronomie, cartographie, médecine, mathématiques, armes (ex : trébuchet) ainsi que des découvertes des sociétés chinoises, centre manufacturier du monde à cette époque avec la poudre, l'imprimerie, la boussole, les techniques de navigation et de métallurgie (la fonte : maîtrisée là-bas dès le Vème siècle avant l'ère chrétienne ...).

Si l'on observe l'histoire sur une large échelle, c'est donc bien une précoce pré-mondialisation qui a présidé à la constitution du continent européen et reposant sur des échanges à la fois commerciaux, biologiques (plantes, animaux et microbes) et, religieux.

*En savoir plus :*

*L'histoire de l'Homme ; 22 ans d'amphi au Collège de France – Yves Coppens- Editions Odile Jacob poches Mars 2010.*

*Almanach de la biologie ; évolution et génétique -Michel Rousselet- Editions Vuibert adapt Septembre 2011.*

*De l'inégalité parmi les sociétés. Jared Diamond. Folio essais. Septembre 2007.*

*Les grands dossiers des sciences humaines N°24: l'histoire des autres mondes, Asie, Afrique, Amérique. Editions sciences humaines Auxerre Novembre 2011*

*Constructions animales. Bruno Corbara. Cécile Aquisti. Les références du naturaliste. Editions Delachaux et Niestlé Septembre 2005.*

## 5.2 DE L'EXISTENCE OU NON D'UN GRAND ARCHITECTE DANS L'UNIVERS

Ce parcours de lectures, autour du thème de la sélection naturelle, nous éclaire sur les mécanismes qui régissent l'évolution de la vie sur Terre et qui aboutit à l'une de merveilles de la stratégie du vivant, qui est celle de l'union. Associativité des particules pour former des atomes et des molécules, union des cellules pour former des organismes, entraide des individus et de leurs talents pour fonder des collectivités sociales, union enfin des hommes, riches dans leur diversité, et totalement égaux biologiquement.

Tous les hommes avaient la même couleur de peau initialement et dans les régions fortement ensoleillées, la couleur noire de la peau, liée à la mélanine, protège encore le corps des rayons UV nocifs. L'organisme a néanmoins besoin d'une certaine quantité de rayonnements UVB pour synthétiser, au niveau de la peau, à partir d'un dérivé du cholestérol, une vitamine indispensable à sa croissance osseuse. Cette source de vitamine D varie selon l'exposition au soleil et la pigmentation de la peau. N'en déplaise à certains, mais la peau claire n'est en fait qu'une adaptation à la migration des ancêtres des européens dans des contrées moins soumises aux UV solaires que leurs terres d'origine. Désolé, mais la race humaine originelle pure, est bel et bien à peau noire !

Si l'aboutissement de l'évolution du vivant vers des êtres de plus en plus complexes nous émerveille, il ne faut pas perdre de vue que cette complexité est néanmoins synonyme de fragilité face aux cataclysmes qui ont façonnés l'histoire du monde, en n'oubliant pas que l'adaptabilité la plus grande appartient aux êtres les plus simples, unicellulaires.

La sélection naturelle telle que décrite par Darwin (mutations aléatoires puis tri par l'adaptation ou non) et ses prédécesseurs Buffon, Lamarck et Unger, n'est plus considérée comme le moteur exclusif de l'évolution. La convergence évolutive, le rôle aléatoire des cataclysmes ainsi que de récentes démonstrations d'acquisition de caractères définitivement transmissibles chez des mammifères sans intervention des gènes, prouvent que d'autres mécanismes sont à découvrir par les curieux de nature.

Mais une telle diversité du vivant n'a-t-elle, pourquoi pas aussi une origine surnaturelle ? Est-elle le fruit d'une intention divine ayant cette précisément cette finalité ?

Si un Dieu existe pour régir l'univers, alors qui est-il ? Est-il une simple loi physique, une particule élémentaire (ça fait déjà plus riche) , un gène, un être vivant, un humanoïde (c'est plus digne comme représentation !) .. ??

A défaut de pouvoir un jour démontrer de tels liens de causalité, il appartient à chacun d'y répondre à la lumière de ses convictions intérieures, mais à présent sans ignorer les acquis scientifiques, afin de ne plus jamais commettre les conséquences gravissimes des croyances infondées du passé, basées sur la seule intuition, comme nous le raconte l'histoire dramatique de la sorcellerie.

Sur ce thème, la Suisse a détenu au moyen âge, la palme de la plus longue durée de répression de la sorcellerie en Europe avec, durant près de trois siècles (XVe au XVIIe siècle), 5000 personnes qui ont été mises en accusation, et 3500 d'entre elles exécutées avant tout par le feu, dont 60 à 70% de femmes. La plupart du temps l'accusation de sorcellerie tombait sur des personnes marginales et/ou qui présentaient des symptômes particuliers comme des hallucinations, démence... Il est intéressant d'analyser la mécanique qui a conduit dans l'erreur tous ces "bons croyants" qui ont jugé et tué ces malheureuses innocentes, après avoir extorqué les confessions de leur "prochain", par des méthodes efficaces comme la "question préparatoire", qui consistait à effrayer l'accusée en lui expliquant le maniement des différents instruments de torture. A défaut d'aveux spontanés, parmi les méthodes les plus usitées pour délier les langues, nous savons qu'il y avait la chaise à clous, l'élongation des articulations des membres avec des poids, l'estrapade, les garrots, l'immersion, les fers brûlants, les rouleaux à épines, les tourniquets, les brodequins, l'eau bouillante et, le plomb fondu ! Bref, de bonnes techniques bien chrétiennes "qu'on les y soumit à plusieurs reprises quand elles rétractaient leurs aveux, et qu'on leur promît des remises de peine, qu'on savait ne pas devoir tenir"....

Pour documenter un procès en sorcellerie, rien ne valait un aveu circonstancié de l'accusée reconnaissant avoir participé au "sabbat", dont le stéréotype apparaît vers 1400 dans les Alpes françaises, avec des représentations des sorcières enfourchant leur balais. Les prédications de Bernardin de Sienne en Italie du Nord, avaient contribué à ce mythe, en inaugurant "les bûchers des vanités" où étaient brûlés les objets qui poussent au péché de vanité, comme les miroirs, les cosmétiques, les robes richement travaillées, les bijoux, les instruments de musique, mais aussi les livres immoraux, les chansons non religieuses, les images licencieuses. (extrait de wikipédia).

Lors de la chasse aux sorcières débutée en Suisse à partir de 1420, un contemporain donne la première description en français du sabbat : "Alors l'inquisiteur déclara que les ci-dessus nommées .../.../et ..., avaient été en vauderie [sabbat], en la manière qui suit : Quand ils voulaient aller en vauderie, ils s'enduisaient d'un onguent que le diable leur avait donné ; ils en frottaient une verge de bois bien petite, et des palmes en leurs mains ; mettaient cette vergette entre leurs jambes, s'envolaient où ils voulaient, et le diable les portait au lieu où ils devaient faire ladite assemblée...".

La sorcellerie recrute surtout parmi les femmes qui sont accusées de renier la foi chrétienne, de piétiner les insignes du christianisme lors d'un rassemblement en sabbat dans un lieu écarté, avec adoration et accouplement avec des démons, et où le diable est représenté par un bouc. Suit un grand festin au cours duquel sont dévorés des enfants préalablement mis à mort rituellement.. !

Plus tard, en 1692 à Salem dans le Massachussets, une communauté puritaine de colons a rattaché les symptômes hallucinatoires et convulsifs que quelques jeunes filles présentaient, à un envoutement par le démon. Ceci a abouti en cascade à 25 exécutions capitales, là encore, après "juste" procès en sorcellerie. Lors de ces audiences, la vie sauve n'était accordée qu'aux accusés qui acceptaient de dénoncer à leur tour comme envouteur, un autre villageois ... bonjour l'ambiance !

Pour conclure cet épisode sur la sorcellerie, rapprochons ce phénomène d'un épisode semblable intervenu plus près de nous, en 1951 à Pont Saint Esprit en France. Dans cette ville, il y a donc seulement 60 ans, des centaines d'habitants présentant subitement les mêmes symptômes ont été hospitalisés et, parmi ceux-ci une dizaine d'entre eux en moururent. Or, dans le journal local de l'époque on peut lire que, devant cette hécatombe, on était allé quérir un exorciseur, là encore pour contrecarrer une **malédiction du « diable »** !

En réalité, le « pain maudit » que les habitants atteints avaient tous consommé, et qui provenait de la même boulangerie a fait l'objet d'analyses scientifiques qui ont démontré que la farine était contaminée par l'ergot de seigle, un champignon que l'on avait oublié depuis le moyen âge, dont le nom est *Claviceps purpurea*. Il renferme un **alcaloïde puissamment hallucinogène**, dont est dérivé le LSD. Une thèse américaine récente a établi la même cause probable pour l'épisode de Salem !

A notre époque contemporaine, et malgré la mise sur le marché de l'indispensable bracelet power balance, les théories créationnistes et le dessein intelligent habitent encore plusieurs millions de citoyens de l'une des nations les plus modernes du monde. Elles reposent sur le fait qu'il apparait impossible à première vue, que l'hospitalité du monde terrestre et toute la complexité du vivant aient pu émerger spontanément, sans le produit d'un rêve perfectionniste d'un autre. Elles réfutent l'idée que le monde est compréhensible par la science, sans miracles, et prônent le recours systématique à la théologie pour expliquer cette complexité, en l'utilisant comme un argument censé prouver l'existence d'une œuvre divine.

Sur le plan scientifique le dessein intelligent raisonne par analogie ce qui ne démontre rien. Le syllogisme qui sous tend son argumentaire est le suivant :

- a) les vélos sont le produit d'une intelligence créatrice,
- b) les être vivants et leur ADN/ARN sont bien plus complexes que les vélos,
- c) donc les organismes vivants sont le produit d'une intelligence créatrice !

Bien heureusement, une réponse magistrale et définitive nous est donnée par la **physique quantique**, apportant un éclairage qui gifle tous ces concepts ancestraux, purs produits de l'intuition. Elle démontre que la nature n'est pas dictée par l'issue d'un processus préconçu, mais qu'elle ouvre un spectre de multiples choix possibles, avec pour chacun une probabilité de se produire (exactement comme nous l'avions déjà vu précédemment pour les gènes). En d'autres termes, les coïncidences qui ont abouti à la constitution du monde que nous observons dépassent les capacités cognitives de tout à chacun pour objectiver un lien de cause à effet. A défaut, et depuis des siècles, l'humanité a du inventer des Dieux en guise d'explication de l'émergence d'une Terre de vie, sortant du lot par son caractère unique. La somme inouïe de coïncidences permettant d'aboutir à la création de la vie sur terre, sans autres équivalents connus, apparaissant logiquement comme d'origine divine.

La physique quantique moderne démontre aujourd'hui que notre système solaire n'est statistiquement pas seul dans l'univers et que la cascade de coïncidences qui a abouti à sa création est parfaitement mesurable. Elle nous permet enfin de nous émanciper de nos intuitions historiques, incapables de fournir des explications rationnelles sur les principales lois physiques régissant le monde comme celle apportée récemment par la **M-Théorie**, qui explique de manière rationnelle la cohérence des différentes lois physiques connues (électricité, lumière, magnétisme,..).

Les toutes récentes **observations télescopiques directes**, obtenues grâce aux sondes envoyées dans l'espace, viennent de corroborer ces démonstrations physiques en prouvant l'existence d'autres systèmes solaires que le nôtre ainsi que d'au moins d'une planète où la température ambiante est proche de celle de la Terre, donc compatible avec la vie, si de l'eau s'avérait présente.

Au final, les moteurs de l'évolution ne passent donc ni par une "création divine", censée prédéterminer les phénomènes naturels, ni par une Terre au centre de l'univers, ni par l'anthropocentrisme plaçant l'homme, créé à l'image de Dieu, au sommet du monde vivant et présidant ainsi le destin de l'univers grâce à sa spiritualité et à sa pensée rationnelle. Ils ne passent pas non plus par un programme irrémédiable inscrit dans l'ADN et dont la finalité serait le bien être de notre propre organisme. Ils résultent en réalité de simples contingences : c'est à dire de cascades d'évènements fortuits (comme les mutations ou les transitions de la position des gènes), soumises ensuite au crible d'une sélection stricte selon l'adaptation ou non de ces évènements fortuits à l'environnement auquel ils se confrontent.

En ralentissant la compréhension, ces dictatures successives du savoir, laïques (le combat de Pasteur contre la « génération spontanée ») ou religieuses, ont certes coupé quelques ramifications à l'arbre de la connaissance, mais leurs dogmes de la pensée unique n'ont jamais résisté très longtemps, finissant par céder aux évidences et aux nouvelles preuves que les curieux amènent, chaque printemps. A l'heure des voyages en avion, qui oserait affirmer aujourd'hui que la terre n'est pas ronde ? Copernic, Galilée et Abu Al-Rayhan, dormez en paix. La vérité finit toujours par triompher et, de nos jours, s'il vous plaisait de réapparaître, vous n'auriez même plus besoin d'abjurer en public et à genoux, sous le joug d'un tribunal de l'inquisition !

Accepter notre filiation évolutive à partir d'un singe ancestral a suscité des réactions passionnées et n'est pas encore admise par tous ceux qui enseignent que Dieu créa de facto Adam puis Eve au 6<sup>ème</sup> jour à partir de poussière de terre, et en... "Soufflant dans leurs narines", ceci il y a 4000 ans seulement avant J.C. (Genèse 2:7), tous les animaux et végétaux de cette terre biblique étant aussi définis comme ayant été créés de toute pièce, pour être ensuite ordonnés sagement par l'homme qui les domine, tout au sommet des phylums évolutifs.

Prendre pour argent comptant le passage biblique où Josué a obtenu de Dieu qu'il arrête le soleil un jour pour achever son combat, est sur le plan physique, une pure ineptie !

Lamarck, Wallace et Darwin, restez zen. Tout autant respectable que puisse l'être un acte de foi, il n'en demeure pas moins que, pris à la lettre, les dogmes créationnistes fixistes, échappent à toute logique rationnelle :

- les traces de pré-hominidés qui ont été trouvées datent d'il y a 6 millions d'années, et les pierres taillées, de 2.5 millions d'années. Si disparus il y a 65 millions d'années, l'on nie ces découvertes, est-ce alors aux Dinosaures, pour les léguer à Adam, qu'il faut accorder la paternité d'avoir taillé ces pierres, arrivant bien plus tard, 4000 ans avant J-C ?  
- les premiers foyers laissés par des humains datent de 790 000 ans. Faut-il encore espérer que les techniques de datation au carbone 14 ou même celles plus sensibles à l'isotope 18 de l'oxygène, parviennent à démontrer un jour l'existence de kangourous fumeurs et branchés, ne se servant que de briquets Zippo ?



- Bien que différent d'une espèce à une autre, le code génétique est lui commun à tous les être vivants démontrant qu'ils ont le même ancêtre commun.
- Les Néandertaliens ont disparus il y a 25 000 ans et il vient d'être démontré que 1 à 4 % du génome de l'homme moderne provient des néanderthaliens. Nous partageons par ailleurs 99% de nos séquences d'acides nucléiques avec le chimpanzé. Si l'on nie ces évidences de filiation, trouverons-nous un jour une peinture rupestre représentant une trépanation prouvant que, sans anesthésie, les greffes de gènes à cette époque étaient malgré tout cautérisées à l'Opinel ?

Les croyances ont pour base le partage d'espoirs et parmi ceux-ci, certains expliquent probablement le succès des religions par la **portée sociale** universelle de leur message amplifiant la seule référence spirituelle. La recherche d'une finalité pour répondre à l'abstraction de l'après vie - Une soif de justice sociale par la réincarnation dans l'au-delà - La possession d'une égale dignité accordée à tous - L'adhésion à une éthique de fraternité cadrée par un code de conduite bannissant le superficiel au profit du pardon, de la justice, du partage, et de la non-violence - Une lisibilité face à la souffrance - L'émancipation de l'individu à l'égard du groupe mais parfois aussi l'inconscience difficulté de rupture des dogmes familiaux, par crainte d'exclusion - L'affirmation d'une identité culturelle lorsque les racines s'éloignent géographiquement ou, socialement - Le besoin d'une réponse universelle aux difficultés de la vie, la plus compréhensible possible par l'ensemble des individus quelque soit leur culture scientifique - Un moyen pour les chefs de légitimer leur statut ou leurs ambitions- La seule réponse, par défaut, avant l'émergence des sciences : « C'est parce que Dieu la voulu ainsi - c'est la volonté de Dieu ».

Il faut prendre cependant du recul en constatant que l'émergence des sciences à l'échelle de l'humanité n'est que très récente et s'installe après des millénaires de mythologie. Or, on sait que tout changement culturel exige un délai. Nous en voulons pour preuve l'exemple des fumeurs qui continuent à s'intoxiquer malgré les campagnes de sensibilisation menées depuis des années. Il en est de même des milliers de Rhinocéros qui ont été décimés et continuent à l'être encore de nos jours pour des prétendus pouvoirs magiques de leur corne : manches de poignards et usage « thérapeutique » en médecine chinoise pour guérir nombre d'affections, dont l'impuissance sexuelle. Ces croyances encore sévèrement accrochées dans cette Chine qui pourtant n'a de cesse de s'afficher comme en plein essor culturel, expliquent le prix de vente d'une corne en 2011 qui est d'environ 300 000€, (prix du marché des braconniers) ! Sa composition est pourtant exactement la même que celle de nos ongles et de nos cheveux, c'est-à-dire de la simple kératine, qui n'a jamais fait bander personne ! Or, ces délires ont pourtant exterminés des populations entières de rhinocéros et font que toutes les espèces sont aujourd'hui menacées d'extinction, malgré des campagnes massives d'éducation. Les conséquences des intuitions imposent que des hélicos militaires patrouillent la nuit au dessus des réserves d'Afrique du Sud, munis de caméras thermiques pour tenter d'arrêter les braconniers.

Pour le naturaliste, le mécano de l'évolution est une quête de réponses, mais pas aux mêmes questions que le croyant (mais il existe des naturalistes croyants qui se posent donc 2 fois plus de questions !). L'intérêt réside pour lui davantage dans la compréhension des moteurs de la vie, que dans leur finalité. C'est la reconstitution d'un puzzle fascinant et la découverte que les mêmes pièces sont utilisées et expliquent comme nous l'avons vu des liens de filiation à plusieurs niveaux : entre les espèces, les liens sociaux des individus à l'intérieur d'une espèce, et enfin ceux qui existent entre un individu et les cellules qui composent son organisme.

Les deux approches que sont la spiritualité et les sciences naturelles, constituent une quête de réponses subjectives d'un côté, par une symbolique, et objectives de l'autre, avec des hypothèses initiales mais de plus en plus documentées par l'expérience, jusqu'à devenir des faits incontestables.

Elles sont vectrices de progrès social dans les deux cas lorsqu'elles sont sincères, c'est à dire en respectant leurs champs respectifs d'attribution. Le constat est alors rassurant car il devient alors identique, démontrant que la seule stratégie gagnante, à tous les niveaux du vivant, et qui répond tout à la fois au "pourquoi" de la spiritualité et au "comment" de la science, c'est celle de l'**union** et jamais celle de la division, c'est à dire celle de l'**altruisme**, si l'on considère l'humanité et de la **coopération**, à l'échelle cellulaire.

" De nouvelles connaissances conduisent à reconnaître dans la théorie de l'évolution plus qu'une hypothèse..., la convergence nullement recherchée ou provoquée, des résultats des travaux menés indépendamment les uns des autres par les chercheurs, constitue par elle-même un argument significatif en faveur de cette théorie".

Jean Paul II, à l'Académie Pontificale du Vatican, le 22 octobre 1998.

La foi, qui a sans aucun doute fédéré les énergies autour d'axes de progrès sociaux humains, doit permettre aux religions de continuer à se mettre positivement au service du respect de tous, êtres présents mais aussi ceux qui leur survivront. Elle ne doit pas servir d'exutoire aux fanatismes violents, quelque soit leur bien fondé. Peut-être un jour verrons-nous le tronc commun de toutes les religions rapproché, pour réunir les hommes plutôt que de les diviser.

L'homme de science ne pourra alors que se reconnaître dans cette morale humaniste généreuse, que l'homme croyant nomme la foi et qui doit au plus vite s'émanciper de manière ostensible de son passé obscurantiste.

Pour nous inciter à poursuivre le parcours caritatif que les religions ont toujours mené au service des plus démunis, l'homme croyant, animé par un dessein d'aide qui force le respect, doit admettre ouvertement les évidences scientifiques (ce n'est qu'en 1992 que l'église a admis que la condamnation de Galilée en 1633, était une erreur !). Il en assoira d'autant plus sa crédibilité prônant une vocation altruiste au sens de la vie, tout en approfondissant ses connaissances, en plein accord avec sa religion :

« Loin d'inciter à la guerre et à la violence ethnique, la Bible enseigne aux serviteurs de Dieu à renoncer non seulement à la guerre, mais aussi à la haine qui y mène. Loin de préconiser le fanatisme et la crédulité, elle enseigne que les preuves sont essentielles à une foi authentique, et que la capacité de raisonner est indispensable pour servir Dieu. Loin de réprimer la curiosité, elle encourage à approfondir certains sujets les plus difficiles et les plus passionnants ». Tiré de « cinq questions à se poser sur l'origine de la vie » aux éditions Les témoins de Jéhovah de France et traduit de l'anglais « watch tower bible and tract society of pennsylvania » année 2010.

Ainsi franchissons-nous tous ensemble un bon évolutif culturel de défense des valeurs universelles du vivant, de fraternité et de paix définitive des hommes entre eux et en cohabitation harmonieuse avec les espèces animales et végétales, plus que jamais fragiles et cependant tellement parentes\*.



En savoir plus :

*The Great Design- Stephen Hawking et Leonard Mlodinow* Sept 2010 Edition: First Edition (version française : *Y a-t-il un grand architecte dans l'univers – Editions Odile Jacob sciences, février 2011*)

*Le Christ philosophe - essais - Frédéric Lenoir - Editions Plon, 2007*

*\*Les animaux ont-ils une culture ? Damien Jayat. Bulles de science. Editions EDP Sciences Juin 2010*

## CONCLUSION

Nous concluons ce travail en retournant à notre passion originelle, qui est celle de l'observation de la nature sur le terrain, et ceci grâce à deux regards :

- Celui, contemporain d'un auteur naturaliste africain\*\* sur la faune mammalienne de son continent. Sa vision est riche d'enseignement sur l'évolution, prise cette fois au sens de figuré de l'évolution des idées et des mœurs !

*"Les premiers documents décrivant les animaux africains furent initialement des bestiaires sur les gros animaux destinés à un unique public de chasseurs et ne parlant alors que de « **Gibier** » ; Vers le milieu du XX<sup>em</sup> siècle, le langage évolua au profit de **faune sauvage**, d'histoire naturelle et de guides naturalistes. A présent enfin, nous découvrons que nous sommes aussi des mammifères, éléments à part entière de la **biodiversité** mais plus particulièrement responsables que les autres espèces, à la lecture des photos de nos propres satellites, montrant la fragilité de la planète. Il nous aura fallu donc 500 ans, depuis les premiers écrits décrivant cette faune giboyeuse africaine, pour comprendre que la survie des autres animaux et écosystèmes, conditionne en réalité la notre ..."*

- Celui des découvreurs de l'île de la réunion :

*« Il y a grande quantité d'oiseaux, petits et grands, tourterelles, perroquets, etc.. et une grosse espèce de volaille de la taille d'un dindon, si grasse et à ailes si courtes qu'elle ne peut voler ; elle n'est pas sauvage, comme du reste tous les animaux de cette île, aucun d'eux n'ayant jusqu'ici été tracassé ou chassé. Dix hommes en tuaient assez à coup de pierres ou de bâtons pour nourrir quarante personnes ».*

*« L'on y trouve quantité de ramiers .. , Ils se laissaient prendre avec les mains, ou bien on les assommait à coups de bâtons et de cannes, sans qu'ils fissent aucun effort pour s'envoler. En un jour on en tua bien deux cents.... Comme nous fûmes plus avant dans la terre, nous en vîmes bien vingt cinq ensemble à l'ombre d'un arbre et nous en prîmes autant que nous en voulions ».*

*Récits d'explorateurs de l'île de la réunion en 1613 et 1619.*

L'arrivée de l'homme sonna le glas d'une faune originelle vulnérable, brusquement confrontée à une prédation à laquelle son évolution confinée ne l'avait pas préparée et, dès le XVIII<sup>e</sup> siècle la majorité des espèces indigènes étaient déjà éteintes ».

*Tiré des Oiseaux de la réunion. Auteurs : Nicolas Barré. Armand Barrau. Christian Jouanin. Les éditions du pacifique- Octobre 1996*

En savoir plus :

*\*\* Guide des mammifères d'Afrique – Jonathan Kingdon- Editions Delachaux et Niestlé septembre 2010*

