**Chapitre I Origine de le vie**

La terre est âgée de quelque 4,5 milliards d’années. Trois cents millions d’années environ après sa formation, sa surface était déjà recouverte de protocontinents et d’océans. Des océans primitifs au sens desquels la vie se développa. Une vie chimique, sous la forme d’automates (agencement de molécules), par autocatalyse (activation) de se reproduire et d’évoluer ; et à survivre aux différents changements naturels (séismes, éruption volcanique, bombardements météoritiques, …). Plusieurs fossiles d’automates très anciens (datés de 3,8 milliards d’années), ont été découverts dans certaines régions de la terre qui témoignent de la présence d’eau liquide, de gaz carbonique dans l’atmosphère. Certains fossiles prouvent aussi la présence d’une vie microbienne diversifiée (11 variétés différentes) ce sont tous les microbes photosynthétiques. D’autres bactéries thermophiles et anaérobies ont été isolées à partir de fossiles filamenteux vieux de 3,23 milliards d’années. Ces formes vivantes ont vécu à proximité de sources hydrothermales, à des températures comprises entre 30 et 80°C et tirent leur énergie et les éléments nutritifs nécessaires à leur survie des composés chimiques (oligo-éléments) présents dans le fluide hydrothermal.

Les chercheurs tentent de réaliser des expériences en laboratoire, afin de recréer la vie originelle en tube à essais sur la base des hypothèses qui existent. L’une de ces hypothèses consiste à supposer l’origine organique des pièces des petits automates chimiques autoreproducteurs ainsi que de leurs précurseurs, **Les molécules prébiotiques**. Ces toutes premières structures vivantes auraient ainsi principalement consisté en un assemblage d’atome de carbones, d’hydrogène, d’oxygène et d’azote. Leur constitution aurait résulté de l’action de diverses sources d’énergie (décharges électriques, rayonnement UV ou cosmique, chaleur) sur des molécules carbonées gazeuses (méthane, monoxyde de carbone dioxyde de carbone) et azotées (azote, ammoniac) ; leur diffusion, de l’interaction de ces molécules organiques avec les molécules d’eau, omniprésentes sous formes solide (glace) et gazeuse (vapeur).

 Les molécules prébiotiques se seraient ainsi formées dans des milieux riches en composés carbonés, azotés et en eau, dont les conditions physiques auraient favorisé leurs interactions. L’atmosphère terrestre primitive aurait-elle pu constituer ce réacteur chimique propice à la synthèse des molécules organiques nécessaires à l’émergence de la vie ? Telle est la question que souleva le biochimiste russe Alexandre Oparin, en 1923. Une question à laquelle le chimiste américain Stanley Miller apporta un début de réponse, une trentaine d’années plus tard. Ce dernier remplit un ballon d’un mélange réducteur de méthane, d’ammoniac, de dihydrogène et de vapeur d’eau, qu’il soumit à l’action d’un arc électrique censé reproduire les orages secouant l’atmosphère terrestre primitive. Le formaldéhyde, l’acide cyanhydrique, la glycine et trois autres acides aminés entrant dans la composition des protéines figuraient parmi les composés ainsi formés. Depuis, 17 des 20 acides aminés constituant les protéines ont été isolés ; de même certains des éléments constitutifs des acides nucléiques. Toutefois l’atmosphère terrestre primitive, semble avoir été majoritairement constituée de dioxyde de carbone – ce composé carboné qui, mélangé à l’ammoniac, au dihydrogène et à la vapeur d’eau, puis soumis à un arc électrique, produit très peu d’acide aminés. D’où la recherche d’autres milieux réactionnels, riches en méthane ou en hydrogène, susceptibles de produire les acides aminés en grand nombre.

**I-1 Hypothèses sur les origines de la vie**

**I-1-1 Les évents hydrothermaux**, ces sources sous-marines riches en oxyde de carbone, dioxyde de carbone, en méthane, en hydrogène, en azote, en anhydride sulfureux et hydrogène sulfuré, constamment alimentées en énergie thermique par le magma terrestre qui plus est, pourraient avoir constitué un milieu favorable à la synthèse des molécules prébiotiques, et donc à l’émergence des toutes premières formes de vie. Des traces d’acides aminés ont effectivement été obtenues en laboratoire en soumettant un mélange de méthane et d’azote aux conditions physicochimiques régnant dans ces fumeurs noirs.

**I-1-2-Les comètes**

Ces objets célestes qui se déplacent sur des orbites instables et succombent parfois au champ gravitationnel d’une planète, telle la comète Schoemaker-Levy 9 qui entra en collision avec Jupiter en 1994, ont pu apporter de très importantes quantités de matière organique extraterrestre et fournir une grande fraction de l’eau terrestre. Les observations effectuées depuis la terre et grâce aux sondes Véga et Giotto, ont effectivement montré que la comète de Halley, tout comme celles de Hyakutake et Hale-Boppe d’ailleurs, était riche en matériau organique : parmi les molécules d’intérêt prébiotique figurent l’acide cyanhydrique, le formaldéhyde, l’acétonitrile, le cyanoacétylène, l’acide isocyanhydrique et l’acide isocyanique. Les missions spatiales à venir devraient permettre de généraliser ce résultat – d’augmenter la probabilité de l’origine extraterrestre de la vie terrestre. Parce qu’elles enferment de nombreux composés organiques d’intérêt biologique – des acides carboxylique, des acides aminés, des hétérocycles azotés, des amines, des amides, des alcools, …. , certaines météorites carbonées appelées chondrites sont également susceptibles d’avoir acheminé la vie sur terre. La météorite de Murchison renferme ainsi près de 70 acides aminés différents, parmi lesquels figurent 8 acides aminés protéiques.

Chaque année, la surface terrestre reçoit près de 100 tonnes de météorites carbonées. Ce qui est bien peu comparé aux quelques 20 000 tonnes annuelles de micrométéorites, ces grains interplanétaires apparentés aux météorites les plus primitives – celles du groupe des chondrites carbonées -, dont le diamètre varie entre 50 et 500 microns (1 micron = 0,000001 mètre ) L’on estime ainsi à 100 tonnes, la quantité de carbone acheminés chaque année par micrométéorites sur terre. Sans doute cette quantité était-elle voisine de 30 000 milliards de tonnes lors de la phase active du bombardement terrestre, soit entre -4,1 et -3,8 milliards d’années. Le flux de micrométéorites était alors mille fois plus intense qu’aujourd’hui. De nombreux prélèvements effectués dans les glaces du Groenland et de l’Antarctique ont révélé la présence d’acides aminés, de sulfures métalliques, d’oxyde, d’argiles,… en leur sein. Diverses expériences spatiales (BIOPAN-1,…) ont par ailleurs montré le rôle de film UV-protecteur joué par les argiles vis-à-vis des acides aminés, accréditant par là-même la théorie selon laquelle ces derniers auraient survécu aux épreuves du voyage interstellaire. Ainsi les acides aminés, qui entrent dans la constitution des pièces d’automates, pourraient-ils être d’origine extraterrestre.

A la lueur de données contemporaines, il apparait que ces pièces d’automates ne seraient autres que les éléments constitutifs d’une **cellule** ; à savoir les molécules de compartimentation, d’information et de catalyse. Les molécules de compartimentation ou molécules amphiphiles, composés d’une tête hydrophile (soluble dans l’eau) et de chaines carbonées hydrophobes (très peu soluble dans l’eau), s’assemblent pour former la membrane de la cellule et garantir ainsi sa cohésion. Des structures cloisonnées semblables à des membranes cellulaires ont effectivement été obtenues en plongeant diverses substances organiques extraites des météorites de Murchison et Allende en milieu aqueux.

Les molécules d’information portent quant à elle l’information génétique en leur sein – soit le plan de montage et de réplication à l’identique (ou presque) de la cellule mère. Ce sont les acides nucléiques, constitués d’une chaine de nucléotides. Chaque nucléotide se compose d’un sucre – ribose pour **l’ARN,** désoxyribose pour **l’ADN**-, d’une base hétérocyclique – purique A, G ou pyrimidique T, U, C-, et d’un groupe phosphate. L’établissement de liaisons hydrogène se traduit par l’appariement préférentiel des bases, qui aboutit à la configuration bi-hélicoïdale stable de l’ADN et lui offre la capacité de s’auto-répliquer : ses deux brins poly nucléotidiques complémentaires, une fois séparés, constituent en effet la matrice nécessaire à synthétiser une nouvelle chaine, quasi-identique à la première – l’erreur de réplication ne concernant qu’un acide aminé sur 10 000.

Parce qu’ils sont considérés comme plus anciens – plus primitifs, donc – les acides nucléiques à ribose (ARN) font l’objet de reconstitutions en laboratoire : la synthèse de sucres s’effectue à partir de formaldéhyde ; les bases puriques A, G sont obtenues à partir de l’acide cyanhydrique ; enfin, le phosphore est extrait des roches ignées terrestre. Cet élément est également présent dans les météorites carbonées, sous forme de chloroapatite. Le formaldéhyde et l’acide cyanhydrique se trouvent quant à eux au sein des comètes. Sans doute abritent-elles donc, au même titre que les chondrites, les bases puriques A, G et pyrimidiques T, U, C. Des deux, seules les premières ont pu être combinées, sous l’effet de la chaleur, au ribose et au groupe phosphate, pour former un nucléotide. En d’autres termes, aucune synthèse de nucléotide à base pyrimidique n’a pu être réalisée.

Au rang des molécules catalytiques, l’on trouve une argile, responsable de la condensation des nucléotides. Cette élimination d’une molécule d’eau entre le sucre et le groupe phosphate se traduit par la fabrication de chaine de nucléotide et, par voie de conséquence, d’acides nucléiques. L’appariement des nucléotides complémentaires – à base purine G et à base pyrimidine C, par exemple – conduit ensuite à la formation d’une double hélice ; une nouvelle condensation, à la création de liaisons naturelles entre les brins de nucléotides.

**II-Arbre universel du vivant**

**II-1 La frontière entre l’inanimé et le vivant**

On dit qu’un organisme est vivant s’il peut **se nourrir**, **évoluer** et **se reproduire** afin de traverser le temps.

Puisque la vie est chimique et trouve son origine dans la matière inerte, pourquoi ne trouve-t-on pas la frontière précise entre l’inanimé et le vivant ?

Un virus par exemple, n’est qu’un assemblage d’atomes inertes, il est inanimé et pourtant il agit comme un organisme vivant se reproduisant et mutant, lorsqu’il infecte une cellule. L’inanimé et le vivant se ressemble étrangement dans le cristal qui croît et se multiplie tout en étant inerte.

Les archéas sont des cellules 10 fois plus petites que les bactéries et la séquence de leur ADN montre qu’elles sont plus proches du premier organisme vivant que les bactéries. On en trouve sur terre qui vit dans les conditions les plus extrêmes, ce qui démontre leurs capacités phénoménales à s’adapter. C’est pourquoi les chercheurs essaient de supprimer le maximum d’informations enregistrées dans leur ADN pour ne garder qu’un organisme vivant **«minimal »** et ainsi atteindre cette frontière entre l’inanimé et le vivant.

**II-2-Le règne du vivant**

Les **champignons,** les **animaux**, les **plantes** sont regroupées sur une même branche de l’arbre de la vie, la branche des cellules à noyaux ou **eucaryotes**.

**Les bactéries** incarnent la vie dans ce qu’elle a de plus simple et pourtant elles peuvent croître et se multiplier à très grande vitesse. Les bactéries forment la seconde branche de l’arbre, celle des cellules sans noyaux ou eubactéries.

Les **archéobactéries** ou archeas ou archées représentent une autre branche distincte de l’arbre. Les scientifiques classent le monde du vivant en trois branches cependant le code génétique que l’on trouve partout sur terre est **unique.** Il existe donc qu’une seule forme de vie sur terre etnous n’avons pas d’autre exemple de vie basée sur une autre chimie ou sur autre code génétique.

Sommes-nous seuls dans l’Univers, c’est une vaste question mais il est impensable aujourd’hui de croire que la vie n’existe que sur terre, partout où il y a de l’eau liquide, il y a une possibilité de vie même sous la croûte glacée de certains planètes ou satellites de planètes. La vie se développe dans des endroits ou même l’énergie du soleil ne pénètre pas, nous le constatons sur notre planète.

Les plus vieux fossiles bactériens sont très anciens. Ils datent de **3,5 milliards d’années**, ce sont les plus vieilles traces de la vie terrestre. Les plus vieilles roches terrestres datent de **3,9 milliards d’années** et les informations qu’elles contiennent nous montrent des traces de vie. Si la signature de la vie est présente dans les roches les plus anciennes c’est que la vie est apparue très tôt avec cette complexité. On pourrait penser que la vie émerge facilement sur les planètes car elle est intimement liée aux planètes. De plus on constate que la vie est tenace, durable, difficile à détruire et qu’elle reprend sa marche en avant après chaque extinction de masse.

La vie sur terre s’est orientée dans une direction au fil des évolutions environnementales, des contraintes génétiques et des mutations accidentelles, laissant en chemin certaines espèces pour en favoriser d’autres. Les espèces bien adaptées à leur environnement continuent leur route et se reproduisent. L’arbre évolutif nous montre l’extrême diversité de la vie qui s’est organisée à partir de la branche cellulaire et pourtant les 3 à 30 millions d’espèces estimées actuellement, ne représentent qu’à peine 1 de toutes les espèces ayant vécu sur terre. Les bactéries se spécialisent et évoluent avec une très grande vitesse pour s’adapter et la vie pourrait repartir à zéro, à partir de ces simples cellules. La contingence empêchera l’arbre de la vie d’évoluer de la même manière et il ne retrouvera jamais la même voie évolutive si tout devait recommencer à zéro.



**III- Origine et évolution des mitochondries et des chloroplastes**

Les cellules eucaryotes, avec leurs nombreux organites intracellulaires, ont longtemps été considérées comme des descendantes des procaryotes qui se seraient complexifiés suite à des mutations génétiques. Mais à partir des années 1960, la biologiste Lynn Margulis proposa une explication alternative qui fut d'abord reçue froidement par la communauté scientifique. Sa théorie endosymbiotique, proposée d’une façon plus formelle dans un livre paru en 1981, propose que les cellules eucaryotes telles qu’on les connait aujourd’hui seraient le résultat d’une suite d’associations symbiotiques avec différents procaryotes. Ainsi, non seulement les mitochondries, mais aussi les chloroplastes et peut-être d’autres organites comme les lysosomes ou les flagelles seraient d’anciens procaryotes qui auraient trouvé refuge à l’intérieur de cellules plus volumineuses riches en nutriments. Ces grosses cellules anaérobies auraient pour leur part bénéficié des capacités aérobies ou photosynthétiques de ces petits procaryotes qui seraient devenu dans le premier cas les mitochondries et dans le second les chloroplastes des plantes.

Cette symbiose entre les ancêtres anaérobies des cellules eucaryotes et les procaryotes aérobies devrait offrir aux deux des avantages de survie dans un environnement nouvellement rempli d’oxygène. L’hypothèse de Margulis, qui a aujourd’hui rallié la majorité des biologistes, a recueillie de nombreuses évidences en sa faveur.

Ainsi, des analyses phylogénétiques ont clairement démontré que plastes et mitochondries dérivent de lignées bactériennes apparentées respectivement aux cyanobactéries et aux protéobactéries actuelles.

La double membrane de la mitochondrie ou du chloroplaste serait quant à elle un vestige de la phagocytose initiale : la membrane interne maintenant repliée sur elle-même serait l’ancienne membrane bactérienne, tandis que la membrane externe proviendrait de la cellule hôte elle-même.

Les mitochondries et les chloroplastes possèdent aussi leur propre ADN qui n’est pas emprisonné dans le noyau, ce qui est aussi le cas des procaryotes. Toutefois, les protéines codées par cet ADN ne couvrent pas l’ensemble des protéines mitochondriales. On pense que le procaryote aurait perdu certains gènes au profit du noyau de la cellule, un processus connu sous le nom de «transfert de gènes endosymbiotique  ». Pour cette raison, les mitochondries et les chloroplastes sont aujourd’hui dépendants de leur hôte pour la synthèse de la plupart de leurs composants.

La cellule eucaryote apparait donc comme une chimère génétique ; issue de la réunion de plusieurs organismes. Cet endosymbiose, événement fondateur de nature associative, est certainement l’un des plus importants de toute l’histoire du vivant. Elle a toutefois un résultat mois intéressant pour la cellule hôte. Bien sûr, celle-ci bénéficie du système énergétique hautement efficace de ses mitochondries. Mais les déchets que produisent ces derniers, les fameux radicaux libres, sont aussi toxiques pour la cellule et sont considérés comme une des causes importantes du vieillissement.

**Remarques**

1/Les mitochondries de nos cellules proviennent toutes de l’ovule de notre mère, qui elle les avait reçu de sa mère, etc. En se basant sur le taux de mutation dans l’ADN mitochondrial, on peut estimer le nombre d’années qui sépare les êtres humains d’un ancêtre commun. Cette démarche, celle de la quête de **« l’Ève mitochondriale »** a permis de calculer que le groupe humain d’Homo sapiens qui a donné lieu à toute l’humanité a vécu il y a environ 200 000 ans. Cette date est toutefois encore débattue.

2/De plus, ce sont les populations africaines qui ont la plus grande diversité dans leur ADN mitochondrial, ce qui appuie l’hypothèse d’une origine africaine pour l’humanité. Une hypothèse d’ailleurs très bien soutenue par le registre fossile.