

Le vivant

Un organisme vivant est capable de recopier par lui-même son ADN et donc de propager son information génétique dans l'espace et le temps (par le biais de la reproduction). Il assure également lui-même la traduction de cette information génétique pour sa construction et son fonctionnement.

La cellule est l'unité fondamentale de la vie.

D'après Lecointre et Le Guyader, « Classification phylogénétique du vivant »



Prélude : La formation de la Terre

► **Panneaux pédagogiques à consulter :**

- « La tectonique des plaques, la Pangée », module 2
- « Océans », module 5

Les planètes du système solaire se sont formées par condensation d'un nuage de gaz, de roches et de poussières ayant la forme d'un disque (le nuage protoplanétaire), pendant que le centre se contractait pour donner naissance au Soleil. Pendant plusieurs millions d'années, les composants du nuage vont se regrouper pour former tout d'abord des planétésimaux, les « briques » des futures planètes, puis des protoplanètes.

Il y a 4,55 Milliards d'années (- 4,55 Ga¹), les protoplanètes situées à 150 millions de kilomètres du centre du Soleil donnent naissance à la planète Terre. Les éléments lourds, tels le Nickel et le Fer, forment le noyau, tandis que les éléments plus légers se retrouvent graduellement de l'intérieur vers la croûte externe.

La jeune Terre, dépourvue d'océans, est bombardée de météorites et d'autres objets célestes, en même temps qu'elle subit une intense activité volcanique : cette période porte le nom d'Hadéen, de -4,55 à -3,85 Ga (la formation de la Lune date de cette période : l'impact avec apparemment une autre planète de la taille de Mars va éjecter des matières terrestres et extraterrestres qui vont s'agglomérer pour former notre satellite naturel). La conséquence est un important dégazage et la formation d'une atmosphère composée de CO₂ (dioxyde de carbone), NH₃ (ammoniaque), CH₄ (méthane), H₂S (sulfure d'hydrogène), et surtout d'H₂O.

Il y a 4,2 Ga environ (et peut-être plus tôt), la Terre possédait déjà un océan, alimenté par les fortes pluies acides issues de l'atmosphère. L'érosion des roches qui en a découlé est à l'origine de la salinité des mers et océans. Cette « soupe primitive » va alors être le berceau des premières formes de vie.

¹ 1 Ga = 1 000 Ma = 1 000 000 000 d'années (1 milliard d'années = 1 000 millions d'années)



I. L'apparition de la vie

► **Panneaux pédagogiques à consulter :**

- « Premières formes de vie », module 5

Le passage de formes inorganiques à des formes vivantes n'est toujours pas expliqué, même si plusieurs hypothèses existent. Une de ces hypothèses imagine même un « ensemencement » de la Terre par des cellules extraterrestres transportées par une météorite. Les scientifiques s'accordent cependant pour dire que les premières formes de vie sont apparues dans les océans, il y a plus de 3 Ga.

L'universalité de l'ADN (Acide DésoxyriboNucléique) présent dans toutes les formes de vie, capable de répliquer et sans qui la vie n'existerait pas, suppose une origine commune à toutes les formes vivantes. L'ADN possède le code des protéines indispensables à la vie. Cependant, sans protéines, l'ADN n'est pas capable de se répliquer. La molécule d'ADN a donc dû être précédée sur Terre par la molécule d'ARN – Acide RiboNucléique (dans un « monde à ARN »), dont les propriétés font penser qu'elle a pu se répliquer sans protéines. La structure cellulaire, ancêtre de toutes les formes de vie, serait arrivée par la suite.

Les premières traces de vie trouvées l'ont été dans des roches datées de - 3,8 Ga et sont attribuées à des bactéries anaérobies² chimiosynthétiques³. Cependant, des études récentes mettent en doute le caractère organique des traces, ce qui fait avancer la date d'apparition de la vie.

Entre - 3,5 Ga et - 500 Millions d'années (Ma), des cyanobactéries photosynthétiques⁴ (anciennement appelées algues bleues) dégagent un poison, l'oxygène, un déchet de leur métabolisme. D'abord consommé par le fer et le soufre dissous dans l'eau, l'oxygène se dégage très lentement dans l'atmosphère et aurait atteint sa proportion actuelle (21 %) vers le milieu du Crétacé, il y a 100 Ma.

Les cyanobactéries sont à l'origine de formations spécifiques, les stromatolithes, qui témoignent de leur abondance avant le Paléozoïque. Aujourd'hui, ces bactéries ne se développent qu'en présence d'oxygène.

Les cellules eucaryotes, contrairement aux cellules précédemment citées (procaryotes), sont dotées d'un « vrai noyau » (du grec Eu = vrai et Karuon = noyau) qui héberge l'ADN. Ces cellules sont les constituants de base de tous les organismes pluricellulaires, et apparaissent entre - 2,5 et - 1,7 Ga. La grande majorité des cellules eucaryotes possèdent des mitochondries⁵ indispensables à l'utilisation d'oxygène, qui peut alors être utilisé par les organismes. Les cellules végétales possèdent

² Qui n'utilisent pas l'oxygène pour leur respiration (fermentation)

³ Elaborent leur matière en utilisant l'énergie chimique de molécules minérales ou organiques, à l'exemple des bactéries vivant dans les sources hydrothermales

⁴ Elaborent leur matière en utilisant l'énergie lumineuse

⁵ Organite de la cellule eucaryote constituant le site de la respiration cellulaire. Une théorie explique que la mitochondrie auraient été, à l'origine, une cellule ayant parasité une autre cellule, plus grosse.

en plus des chloroplastes qui leur permettent d'utiliser l'énergie lumineuse pour fabriquer leur matière organique (photosynthèse).

La reproduction sexuée apparue vers 1 Ga est une révolution : un individu ne donne plus deux individus strictement identiques par clonage, mais deux individus donnent un individu unique. Le brassage de l'information génétique augmente le risque de mutation et par là-même la diversité au sein d'une même espèce et l'apparition de nouvelles adaptations. L'étape suivante consiste en l'émergence de nouvelles espèces.

La phase suivante de l'évolution, consistant à passer d'organismes unicellulaires à des êtres vivants plus complexes, n'est pas résolu. Cependant, des fossiles d'embryons témoignent de l'existence d'organismes pluricellulaires entre - 580 et - 570 Ma. La « faune d'Ediacara » (Australie), il y a environ 560 Ma, est déjà composée d'une grande diversité de métazoaires⁶ dont certains appartiendraient à des lignées aujourd'hui disparues.

⁶Organismes pluricellulaires dont les cellules s'agencent pour donner des tissus et des organes ayant des fonctions précises



II. Le passage au Paléozoïque et « l'explosion cambrienne »

► **Panneaux pédagogiques à consulter :**

- « Le Paléozoïque », module préalable
- « Explosion de la vie », module 5
- « Essor des poissons », module 5

Entre - 540 et - 520 Ma, les archives fossiles témoignent d'une « explosion de vie ». Le début du Cambrien, au début de l'ère Paléozoïque (- 540 à - 250 Ma), voit l'émergence de formes de vie plus grandes et plus complexes qu'auparavant. Environ 45% des phylums⁷ actuels sont déjà représentés à cette époque, notamment des arthropodes, des mollusques... D'autres formes de vie n'ont plus aucun équivalent aujourd'hui. Les innovations anatomiques comprennent des coquilles, des yeux, des organes locomoteurs... L'écosystème marin se complexifie, avec des prédateurs appartenant à un réseau trophique⁸ structuré. Les trilobites, une classe d'arthropodes, apparaissent également au début du Cambrien pour évoluer tout au long du Paléozoïque et disparaître lors de la crise marquant la fin de cette période (- 250 Ma).

La découverte d'un fossile muni d'une épine dorsale rudimentaire vivant également au Cambrien inférieur annonce l'arrivée des vertébrés confirmée par les premiers poissons (vers - 480 Ma). Ceux-là sont d'abord cuirassés, sans mâchoires (agnathes) et se nourrissent en filtrant l'eau des fonds marins (aujourd'hui, les poissons agnathes sont représentés par la lamproie et les myxines). Les premières traces de poissons à mâchoires apparaissent vers - 430 Ma. Au Dévonien, les poissons à mâchoires se diversifient et sont de plus en plus nombreux, certains pouvant atteindre plusieurs mètres de long. Par exemple les Placodermes (poissons « à plaques à peau ») sont de redoutables prédateurs dotés de plaques osseuses et de nageoires bien développées.

⁷ Série évolutive caractérisée par un même plan d'organisation

⁸ Ensemble des chaînes alimentaires d'un écosystème



III. La sortie des eaux

► **Panneaux pédagogiques à consulter :**

- « La sortie des eaux », module préalable
- « Les reptiles du Paléozoïque », module 4
- « Les premiers volants : les insectes », module 3

Initiée par les descendants des algues vertes (mousses et hépatiques), la conquête du milieu continental par ces végétaux débute vers le milieu de l'Ordovicien (- 470 Ma). Rapidement, les plantes se munissent de stomates⁹ qui leur permettent d'effectuer une respiration aérienne, produisent du pollen (la spore est résistante), inventent un tissu conducteur d'eau et des racines.

Aux alentours de la même époque, les sols sur la terre ferme contiennent ce qui ressemble à des galeries fossiles imputables à des arthropodes. Cependant, la présence d'animaux terrestres comme des araignées et des acariens est réellement attestée à la fin du Silurien (- 400 Ma).

Il y a 350 Ma, les premières graines associées à un climat favorable permettent aux végétaux de couvrir une grande partie des continents. Les arbres peuvent atteindre 45 mètres de haut, les feuilles 1 mètre de long. De nombreuses mines de charbon ont leur origine à cette époque, appelée Carbonifère.

Quelques millions d'années plus tôt, vers - 375 Ma, certains poissons, appelés Sarcoptérygiens, vont développer à partir de leurs nageoires des adaptations que l'on peut *a posteriori* interpréter comme les précurseurs des membres antérieurs des tétrapodes¹⁰ terminés par des phalanges et des doigts. Les premiers poissons à fouler le sol le font en se traînant sur les boues meubles à l'aide de leurs membres antérieurs.

D'abord amphibiens, obligés de retourner à l'eau pour leur reproduction, ces futurs reptiles vont avoir besoin d'une grande innovation pour s'affranchir complètement du milieu aquatique.

Cette étape survient vers - 340 Ma, avec l'apparition d'un œuf pouvant résister à l'air libre. De plus, l'évolution a déjà doté ces explorateurs de pattes et d'une structure interne leur permettant de lutter contre la pesanteur. Les reptiles vont maintenant pouvoir conquérir la terre.

Il y a 300 Ma, la glaciation qui touche le continent unique de la Pangée est peut-être à l'origine de l'avènement d'un nouveau groupe : les reptiles mammaliens. Ils ne présentent à leur apparition que quelques caractères appartenant aux mammifères modernes, notamment les os formant le palais. Lors de leur extinction, 100 millions d'années plus tard, très peu de différences existent entre les reptiles mammaliens et les mammifères de cette époque. Certains de ces reptiles auraient développé une fourrure et une température interne constante, voire même le nourrissage des petits par allaitement.

⁹ Organe situé sur l'épiderme des plantes servant aux échanges gazeux entre l'air ambiant et l'intérieur de la cellule

¹⁰ Ensemble de vertébrés dont le squelette comporte deux paires d'appendices de structure semblable (apparents ou non) appelés membres



IV. La crise du Permien

► **Panneaux pédagogiques à consulter :**

- « La crise Paléozoïque / Mésozoïque », module préalable

Il y a 250 Ma est survenue la plus importante crise de l'histoire de la vie : il en a résulté la disparition de 80 % des espèces d'amphibiens, de 50 % des familles d'animaux marins et de 90 % de la totalité des espèces. S'il est difficile d'en trouver la cause, il semble que la crise soit la résultante de plusieurs événements sur une longue période. La pollution de l'atmosphère par une éruption volcanique est peut-être l'un d'eux. Cette rupture facilement repérable dans les archives fossiles marque la fin du Paléozoïque et le début du Mésozoïque.

Les êtres vivants survivants sont ainsi à l'origine des familles qui vont repeupler la Terre. Parmi celles-ci, le groupe des reptiles mammaliens, au bord de l'extinction, est à l'origine des mammifères.



V. Le Mésozoïque et l'ère des reptiles

Panneaux pédagogiques à consulter :

- « Le Mésozoïque », module préalable
- « Les reptiles du Mésozoïque », module préalable
 - « Les reptiles volants », module 3
 - « Qu'est-ce qu'un dinosaure ? », module 4
- « Familles de dinosaures, évolution », module 4
- « Environnement des dinosaures », module 4
 - « Des dinosaures aux oiseaux », module 4
- « Les autres reptiles du Mésozoïque », module 4
 - « Le règne des reptiles », module 5

Le Mésozoïque, de - 250 à - 65 Ma, est clairement la période d'expansion des reptiles. Dinosaures, reptiles volants et reptiles marins vont dominer les terres et les mers.

Le repeuplement fut long, prenant plusieurs millions d'années pour retrouver une biodiversité comparable à celle existant à la fin du Permien.

Au Trias moyen, il y a 220 Ma, les mers sont peuplées de poissons, de bivalves (l'huître fait son apparition), d'oursins, de gastéropodes, de brachiopodes, de cératites, ... et de nombreux reptiles marins. Parmi ces derniers se trouvait l'ichtyosaure, parfaitement adapté au milieu marin avec un corps fuselé qui rappelle celui des requins et des dauphins. Il s'agit d'une convergence évolutive : des espèces ont évolué parallèlement et développé des adaptations identiques, au milieu marin dans ce cas précis.

Les reptiles marins vont se développer tout au long du Mésozoïque, allant de l'ichtyosaure au crocodile marin, en passant par les énormes plésiosaures. Cette radiation¹¹ des reptiles marins a correspondu à un essor des poissons osseux, notamment les téléostéens¹² au Crétacé (de - 144 à - 65 Ma).

Sur terre, au début du Trias, les reptiles mammaliens ayant survécu à la crise se retrouvèrent submergés par les ancêtres des dinosaures, jusqu'à leur disparition presque entièrement due à une nouvelle crise à la fin du Trias. Les dinosaures conquièrent par la suite toutes les niches écologiques : insectivores, carnivores, herbivores, ... ont été retrouvés dans les archives fossiles, illustrés par toutes les tailles, du plus petit *Compsognathus* aux géants sauropodes.

Les airs, jusque-là domaine réservé de certains insectes¹³, ont vu l'envol des premiers *Ptérosaures* il y a 200 Ma. Ce groupe de reptiles volants composé de plusieurs dizaines d'espèces s'est développé tout au long du Mésozoïque et s'est éteint avec les dinosaures il y a 65 Ma.

¹¹ Emergence de nombreuses espèces à partir d'un ancêtre commun

¹² Superordre regroupant les poissons à squelette interne ossifié, dont quasiment tous les poissons actuels font partie (exceptés les requins et les raies)

¹³ Le reptile *Coelurosauravus* maîtrisait le vol plané grâce à une membrane de peau sur des excroissances osseuses de chaque côté du corps à la fin du Permien

La découverte du fossile d'un animal avec des caractéristiques appartenant à la fois aux reptiles et aux oiseaux modernes fait remonter l'apparition de ces derniers il y a 150 Ma, vers la fin du Jurassique. *Archaeopteryx*, petit animal de la taille d'un corbeau, est le plus vieil oiseau connu jusqu'à présent, capable de voler grâce à des plumes identiques aux oiseaux, mais dont la mâchoire est dotée de dents comme les reptiles.

L'ancêtre commun à tous les oiseaux actuels est certainement un petit dinosaure coureur tel *Deinonychus* du groupe des *Maniraptors*.

Il y a environ 100 Ma, au milieu du Jurassique, un évènement va changer le profil de la terre : les angiospermes, ou plantes à fleurs, apparaissent. Le « progrès » est grand : contrairement aux gymnospermes, les angiospermes produisent des graines protégées dans un compartiment (l'ovaire). Ces dernières sont donc moins sensibles aux parasites, aux insectes, ...

Aujourd'hui, les angiospermes sont représentées par 250 000 espèces contre 550 espèces de gymnospermes (les conifères en font partie).

Parallèlement à l'arrivée des plantes à fleurs s'est effectuée une radiation des insectes : en effet, une nouvelle source de nourriture s'offrait à eux et les papillons, fourmis ou abeilles se sont ainsi régalez du nectar des fleurs. Plantes à fleurs et insectes pollinisateurs ont ainsi coévolué¹⁴ jusqu'à quelquefois développer des adaptations très poussées (exemple des orchidées mimant certaines femelles d'insectes pollinisateurs).

A la fin du Mésozoïque, les mammifères sont surtout représentés par les multituberculés, de petits animaux herbivores ressemblant à des rongeurs (jusqu'à 80 % de la faune à certains endroits). Les mammifères carnivores et insectivores, nocturnes et ressemblant à des musaraignes, complètent le tableau. Ces derniers font partie des familles des monotrèmes¹⁵ (représentés aujourd'hui par les ornithorynques et les échidnés), des placentaires¹⁶ et des marsupiaux¹⁷.

Cependant, la découverte d'un grand mammifère datant du Crétacé, mesurant 1 mètre de long pour une douzaine de kilos et certainement carnivore, vient contrarier la vision habituelle des petits mammifères nocturnes du Mésozoïque.

¹⁴ Coévolution : adaptation évolutive qui se produit chez deux espèces à la suite de leurs influences réciproques

¹⁵ Groupe de mammifères ovipares

¹⁶ Groupe de mammifères dont les jeunes se développent entièrement dans l'utérus, où un placenta les relie à leur mère (les humains sont des placentaires)

¹⁷ Groupe de mammifères dont les petits finissent leur développement après la naissance dans la poche abdominale de la femelle

VI. La crise Crétacé – Tertiaire et l'avènement des mammifères au Cénozoïque



-----▶
Outil pédagogique à télécharger : Origine et évolution de la baleine, anatomie comparée

◀-----
Panneaux pédagogiques à consulter :

- « La crise Mésozoïque / Cénozoïque », module préalable
 - « Le Cénozoïque », module préalable
 - « Mammifères volants », module 3
 - « L'ère des mammifères », module 5

-----▶
La raison de la disparition de 75 % des espèces vivant sur Terre il y a 65 Ma n'est pas complètement déterminée. Cette nouvelle crise biologique, la cinquième de l'histoire de la vie, est certainement liée à un ensemble d'évènements. Refroidissement du climat après près de 100 Ma de chaleur uniforme, volcanisme intense (trapps du Deccan en Inde) et météorite géante¹⁸ sont sans doute les causes de la disparition des ammonites, des grands reptiles marins, des reptiles volants, ... Il reste à savoir comment ces extinctions ont pu être si sélectives, avec la disparition complète de certaines familles comme celle des dinosaures, pourtant extrêmement diversifiée.

Dans les océans, les niches écologiques laissées vacantes par les ammonites et les bélemnites, des prédateurs de taille moyenne, sont occupées au Paléogène par les poissons téléostéens⁹. Si les espèces de mollusques gastéropodes et bivalves sont touchées à 80 % au début du Cénozoïque, le nombre de familles disparues reste limité. Une phase de « reconquête » rapide par les espèces survivantes suivie d'une phase de diversification aboutit à la mise en place de 95 % de nouvelles espèces.

La disparition des dinosaures laisse également vides de nombreuses niches écologiques sur les continents. Les mammifères ayant survécu à la crise vont profiter de ces « espaces » dans les écosystèmes cénozoïques, ce qui se traduit par une radiation évolutive majeure, à partir des groupes déjà présents à la fin du Crétacé. De nombreuses espèces de multituberculés et de marsupiaux disparaissent à cette époque, tandis que les placentaires traversent cette crise presque sans encombre.

La radiation des mammifères va s'étendre sur 20 Ma. Des transformations morphologiques apparaissent notamment au niveau de la dentition ce qui permet de diversifier et de faire évoluer les régimes alimentaires. La taille évolue également, avec l'apparition des premiers grands mammifères à la fin du paléocène.

Les mammifères modernes apparaissent vers 55 Ma. Tous les milieux sont colonisés, les airs par les chiroptères (chauve-souris), les eaux par les cétacés et les siréniens (ex : lamantins). Sur les

¹⁸ Ces deux évènements auraient eu pour conséquence un assombrissement généralisé du ciel associé à une limitation du rayonnement solaire et une baisse des températures

continents, les placentaires sont présents sur tous les continents, excepté en Australie, qui est le domaine des marsupiaux.

A partir de - 35 Ma, les mammifères évoluent de manière endémique¹⁹ en fonction des changements climatiques. Depuis l'oligocène (- 23 Ma), peu de changements sont intervenus dans les familles de mammifères.

¹⁹ Qui se limite géographiquement à une région



Bibliographie

- ✧ ANDREWS P., BENTON M., JANIS C., SEPKOSKI J.J., STRINGER C., 1993.- Le livre de la vie. Ed. Du Seuil, collection « Science ouverte ».
- ✧ CAVOISIE A. J., VALLEY J. W., WILDE S. A., E.I.M.F., 2005.- Magmatic $\delta^{18}O$ in 4400-3900 Ma detrital zircons : A record of the alteration and recycling of crust in the Early Archean. Earth and Planetary Science Letters, 15 juillet 2005, 3-4, vol. 235 : 663-681.
- ✧ COMBES C., 2002.-La Vie. Ed. Ellipses, collection « L'esprit des Sciences » : 15-21.
- ✧ COPPENS Y., PICQ P., 2002.-Aux Origines de l'humanité. Ed. Fayard.
- ✧ DE LAET S. J., 2000.-Histoire de l'humanité, vol. I : De la Préhistoire aux débuts de la civilisation. Edition française, UNESCO, Edicef, Paris : 85-87.
- ✧ POMEROL (C.), RENARD (M.), 1997.- Eléments de géologie. Ed. Masson, collection « Enseignement des Sciences de la Terre » : 524-525.
- ✧ READER J., 1986.-L'histoire de la vie, De la naissance de la Terre à l'apparition de l'Homme. Ed. du Club France Loisirs.
- ✧ WESTALL F., 2008.- La Terre avant la vie. Dossier Pour la Science, n°60 « Où est née la vie ? », Juillet-Septembre 2008 : 8-11.