

Evolution de la biosphère pendant les 4 premiers milliards d'années

Prof. Emmanuelle Javaux, Département de Géologie, ULg
EJ.Javaux@ulg.ac.be

Reconstruire les grandes étapes d'évolution de la vie pendant les premiers milliards d'années (Ga) de l'histoire de la Terre n'est pas chose facile. Les biologistes différencient facilement les membres des trois domaines de la vie, les archées, les bactéries, et les eucaryotes (cellules à noyau), en utilisant de nombreux caractères de biologie moléculaire et cellulaire. Cependant, ces caractères ne survivent généralement pas à la fossilisation et ne sont donc pas disponibles pour le paléontologue. De plus, les roches subissent des altérations dues à d'intenses pressions et températures suite à leur enfouissement ou aux déformations de la croûte terrestre, qui effacent la majorité des traces de vie ancienne. Néanmoins, dans quelques régions du globe comme l'ouest de l'Australie et l'Afrique du Sud, les roches sédimentaires sont mieux préservées et contiennent des traces de vie ancienne.

Le Précambrien comprend trois éons: l'Hadéen (de 4.6 à 4 Ga), la période d'accrétion de la Terre de laquelle aucune roche ne subsiste, l'Archéen (4–2.5 Ga) quand la vie est apparue, et le Protérozoïque (2.5–0.544 Ga) subdivisé en Paléo-, Méso-, et Néoproterozoïque (Fig. 1). Après le Précambrien suit alors le Phanérozoïque, lorsque la vie devient «visible», comme l'indique l'étymologie du mot (ce qui n'est plus correct, la vie macroscopique apparaissant plus tôt). Les premiers zircons (minéraux) datent de l'Hadéen (>4.4 Ga) et indiquent la présence d'eau liquide et d'une croûte granitique, suggérant une terre «habitable» (mais pas nécessairement déjà habitée). Les fossiles, les biomarqueurs (molécules biologiques fossiles), les stromatolites (structures rocheuses laminées d'origine biologique) et autres tapis microbiens, ainsi que les isotopes du carbone et du soufre indiquent que des microorganismes habitaient les océans archéens (avant 2.5 Ga) et avaient développé des métabolismes similaires à ceux des microbes actuels. La biosphère primitive comprenait une large diversité de procaryotes dans divers habitats marins, et utilisait des métabolismes modernes comme la réduction du soufre (>3.5 Ga), la photosynthèse anoxygénique, la méthanogenèse et la méthanotrophie (>2.8 Ga), et la fermentation. La photosynthèse oxygénique, «inventée» par les cyanobactéries, a conduit à l'accumulation d'oxygène à partir de 2.7-2.5 Ga, modifiant profondément les océans et l'atmosphère de la Terre. Sans cette oxygénation d'origine biologique, la vie végétale et animale complexe n'existerait pas, et les écosystèmes terrestres seraient complètement différents. Bien avant l'apparition de la vie animale à la fin du Protérozoïque, des cellules pourraient avoir synthétisé des stérols eucaryotes (>2.77 Ga). Ces cellules eucaryotes se sont diversifiées à partir de 1.8–1.4 Ga, et plus tard (vers 1 Ga) ont développé la multicellularité et la reproduction sexuée, et acquis la photosynthèse. La vie animale, d'abord microscopique puis macroscopique, est apparue à la fin du Précambrien et a changé profondément les règles du jeu de l'évolution en introduisant la pression de prédation, moteur d'innovation et de diversification.

La vie a donc profondément modifié les paysages et l'atmosphère de la Terre depuis probablement environ 3.8-3.5 milliards d'années, bien que des controverses existent au sujet des plus anciennes traces de vie. Les événements géologiques qui se sont succédé durant l'histoire de notre planète, comme des glaciations intenses, des bombardements de météorites, des formations et fragmentations de supercontinents, et des transformations de la composition océanique et atmosphérique, ont également influencé l'évolution et la diversification de la vie. Cette combinaison de la géologie (science de la Terre) et de la biologie (science de la vie) permet de retracer les grandes étapes d'évolution de la biosphère. Elle donne également les outils pour explorer le système solaire et au-delà, à la recherche d'éventuelles traces de vie extraterrestre.

Figure 1: Echelle des temps géologiques et résumé des grandes étapes de l'évolution de la biosphère et de la géosphère au Précambrien sur base de traces moléculaires (biomarqueurs), isotopiques, morphologiques (fossiles) et biosédimentaires (stromatolites).

