

Chapitre 1. Évolution de la biodiversité au cours des temps

Les méthodes modernes de la radiochronologie fondées sur la datation des plus anciens minéraux connus (des zircons d’Australie) et sur des données astronomiques permettent d’attribuer à la Terre un âge de 4,567 milliards d’années, et de dater les diverses époques géologiques d’une façon absolue (tableau 1.1). Les plus anciennes traces de vie connues ont de 3,5 à 3,7 milliards d’années. L’apparition de la vie n’est peut-être pas spécifique à notre planète, mais il n’a pas été possible jusqu’à ce jour de la mettre en évidence sur Mars ou sur d’autres planètes malgré de nombreuses recherches. La vie est apparue selon des processus encore mal connus, qui font l’objet de beaucoup de discussions et qui sont certainement liés à l’existence de caractéristiques physico-chimiques originales n’existant plus de nos jours sur la terre.

Depuis son origine, la vie sur la terre a subi de nombreuses vicissitudes. Les archives géologiques montrent que la biodiversité déterminée soit par le nombre de familles, soit par le nombre d’espèces, a augmenté régulièrement jusqu’à nos jours. C’est en particulier le cas des familles d’animaux marins et des flores terrestres. Par contre, le nombre de catégories systématiques de niveau supérieur comme les phylums semble bien avoir atteint un maximum au Cambrien et diminué ensuite.

1. Au Précambrien

Les plus anciens fossiles connus datent du début du Précambrien il y a 3,5 milliards d’années. Il s’agit d’organismes unicellulaires du groupe des Procaryotes analogues aux Bactéries actuelles ainsi que des organismes chlorophylliens, uni ou pluricellulaires, les Cyanobactéries, qui subsistent encore de nos jours dans certaines régions tropicales comme les côtes de l’Australie. Ces Cyanobactéries ont formé des structures appelées Stromatolites généralement de forme plus ou moins cylindrique pouvant atteindre un mètre de diamètre. L’apparition des Eucaryotes s’est faite plus tard entre 2,1 et 2,7 milliards d’années. La diversité spécifique de ces organismes primitifs est restée faible pendant deux milliards d’années durant toute l’époque précambrienne (tableau 1.1). Le gisement d’Ediacara en Australie est daté de 700 millions d’années, c’est-à-dire de la fin de Précambrien. Il a fourni seulement 31 espèces appartenant à 21 genres d’animaux marins pluricellulaires. Ce sont des animaux vermiformes comme *Trichophycus*, des éponges, des Invertébrés à allure de Trilobites, ainsi que de nombreuses espèces énigmatiques. Tous ces êtres primitifs étaient vraisemblablement dépourvus de squelette et de parties dures, ce qui explique leur mauvaise

fossilisation. Des déterminations récentes faites à l'aide de l'isotope ^{30}Si du silicium présent dans des silex formés dans les océans ont montré que, durant l'époque précambrienne il y a 3,5 milliards d'années, la température de la terre a atteint au moins 70 °C lorsque la vie est apparue. Dans ces conditions les êtres vivants ne pouvaient guère se développer et se différencier. Ce n'est qu'au début du Cambrien, il y a 550 millions d'années que la température de la terre a atteint environ 20 °C et que la vie a pu se développer et donner le phénomène connu sous le nom « d'explosion cambrienne » (ROBERT et CHAUSSIDON, 2006). La température moyenne des océans n'est plus que de 3,5 °C aujourd'hui.

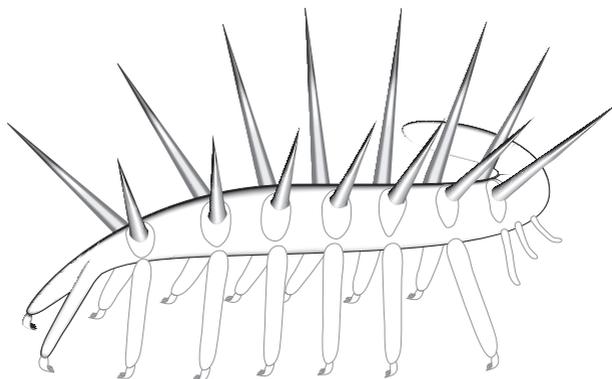
Ères	Périodes	Époques	Commencement (en 10 ⁶ années) depuis l'époque actuelle
Cénozoïque = Quaternaire + Tertiaire	Néogène	Holocène	0,011430 ± 0,00013
		Pléistocène	1,806 ± 0,005
		Pliocène	5,3332 ± 0,001
	Paléogène ou Nummulitique	Miocène	23,03 ± 0,05
		Oligocène	33,9 ± 0,1
		Éocène	55,8 ± 0,2
Mézozoïque ou Secondaire	Crétacé Jurassique Trias	Paléocène	65,5 ± 0,3
			145,5 ± 4,0
			199,6 ± 0,6
Paléozoïque ou Primaire	Permien Carbonifère Dévonien Silurien Ordovicien Cambrien		251,0 ± 0,4
			299,0 ± 0,8
			359,2 ± 2,5
			416,0 ± 2,8
			443,7 ± 1,5
			488,3 ± 1,7
Précambrien			542,0 ± 0,3
Archéen			2 500
			4 570

Tableau 1.1. La durée des temps géologiques.

Ces chiffres ont été établis en 2004 par un congrès géologique international. Pour simplifier le tableau, toutes les époques n'ont pas été indiquées et les divisions de base ou étages, au nombre de 80 environ, ont été omises. Cette échelle est constamment remaniée et mise à jour, parfois de plusieurs dizaines de millions d'années comme pour la limite Précambrien/Cambrien. Seule la limite Crétacé/Tertiaire reste inchangée à 65 millions d'années.

2. Depuis le Cambrien. Les grandes extinctions

Les temps qui se sont écoulés depuis le Cambrien sont nommés Phanérozoïques, car ils renferment de nombreux fossiles d'animaux. À l'opposé, le Précambrien est appelé Protérozoïque en raison de la rareté des fossiles. Le Cambrien correspond à l'époque qui a eu la plus grande diversité en ce qui concerne le nombre de phylums puisque l'on en connaît une centaine dont beaucoup ont disparu selon un processus encore mal connu. La faune de la fin de Précambrien ou Édiacarien disparaît. Elle est remplacée par divers phylums modernes dont beaucoup sont relativement bien conservés car ils ont acquis des parties dures, ainsi que par des formes disparues comme des Archéocyatidés constructeurs de récifs, des Trilobites, des Brachiopodes et par les premiers Cordés. Au Canada, dans le schiste de la localité de Burgess, le paléontologiste Simon CONWAYS MORRIS a reconnu 11 phylums modernes et 19 aujourd'hui ont disparu, parmi lesquels des formes appelées « *aenigmatica* » comme le prédateur géant *Anomalacaris* qui atteignait un mètre et consommait des trilobites, ou le curieux *Hallucigenia*, dont on pense aujourd'hui qu'il est sans doute un représentant du phylum actuel des Onychophores (figure 1.1). En Chine, la découverte du gisement de Chengjiang daté de 530 MA (MA = millions d'années) a fourni environ 150 espèces et apporté de nouvelles précisions sur la faune du Cambrien. La moitié des phylums actuels existaient déjà : les Arthropodes, les éponges, les vers, les Brachiopodes, les Mollusques et même le premier Vertébré connu, un poisson de 1 à 2 cm appelé *Haikanichthys*. Ces découvertes remettent peut-être en cause le dogme de l'explosion cambrienne. Il est possible que ces phylums aient déjà existé au Précambrien, mais que la fossilisation ait été très faible à cette époque. L'analyse des restes fossiles du gisement de Chengjiang montre qu'il existait déjà des réseaux trophiques différenciés avec des prédateurs et des espèces proies.



Légende page suivante.

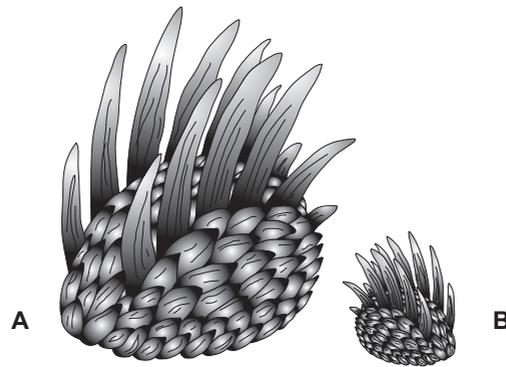


Figure 1.1. Deux organismes énigmatiques du schiste de Burgess (Cambrien inférieur).

Page précédente, *Hallucigenia* (2,5 cm). La région située à gauche est considérée comme une tête. La face dorsale est pourvue d'une rangée de 7 « piquants » ; sur la face ventrale, les 7 paires de tentacules pouvaient servir à marcher. Cette interprétation du fossile est encore discutée. (d'après RAMSKÖLD, 1991)

Ci-dessus, *Wiwaxia* (30 mm), un animal aplati et rampant sur le sol, vu de côté. La face dorsale est pourvue d'écailles et d'épines dont la structure ne se retrouve chez aucun autre organisme. En A la région antérieure est à gauche (d'après CONWAYS MORRIS, dans GOULD, *Wonderful Life*).

Depuis le Cambrien et jusqu'à nos jours il y a eu cinq grandes catastrophes qui ont entraîné des extinctions massives, ainsi que des catastrophes de moindre importance (figure 1.2).

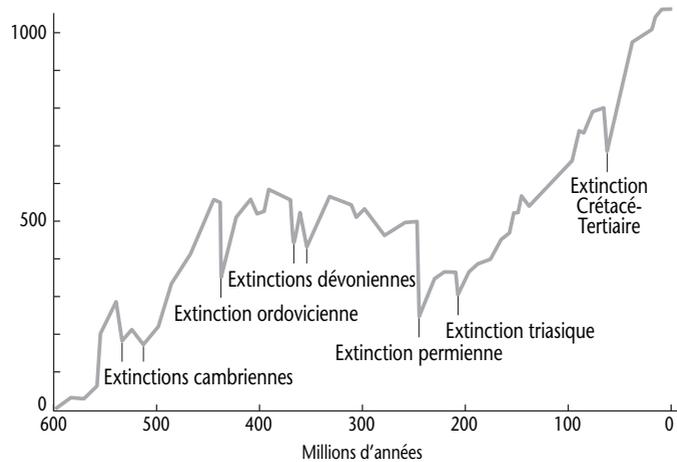


Figure 1.2. Graphique (d'après JABLONSKY, 1999) montrant l'évolution du nombre de familles d'animaux marins depuis le Cambrien jusqu'à nos jours.

Après chaque extinction, la biodiversité remonte plus ou moins rapidement. Dans l'ensemble la biodiversité a augmenté depuis le Cambrien.

La *première extinction* a eu lieu à la fin de l'Ordovicien (-440 MA). Elle a entraîné la disparition de 50 % des familles d'animaux. Cette crise est attribuée à un épisode de glaciations qui a entraîné une baisse du niveau des mers et la disparition de beaucoup d'espèces liées au plateau continental.

La *deuxième extinction* a eu lieu au milieu du Dévonien (-367 MA), elle a été déclenchée par une baisse rapide de la température et par des changements de la composition de l'eau de mer ainsi que des chutes de météorites. Elle a vu la disparition de 70 à 80 % des espèces.

La *troisième extinction* (-250 MA), la plus importante, est celle qui est survenue à la limite permo-triasique. Elle a entraîné en moins de dix millions d'années la disparition, dans les océans, de 95 % des espèces, de 83 % des genres et de 57 % des familles. Les organismes fixés comme les Coraux, les Brachiopodes, les Bryozoaires, les Échinodermes, ont été les plus touchés et la vie en pleine mer est devenue principalement pélagique à partir du Trias. Le bilan est plus difficile à établir pour les organismes terrestres qui ont laissé peu de fossiles, mais on sait que tous les groupes animaux et végétaux ont été touchés, y compris les Insectes qui ont perdu 63 % de leurs espèces. Cette crise résulte d'une régression marine de grande ampleur. Le niveau de la mer s'est abaissé de près de 250 mètres, ce qui a provoqué la disparition des habitats côtiers qui étaient les plus riches en espèces, et un dérèglement du climat qui est devenu plus sec et plus continental. À cela se sont ajoutées des éruptions volcaniques qui sont à l'origine du rejet, en Sibérie, de coulées basaltiques connues sous le nom de *trapps* qui s'étendent sur plus de $3,9 \cdot 10^6$ km² et dont le volume est compris, selon une estimation réalisée en 2002, entre 2 et $3 \cdot 10^6$ km³. Ces éruptions ont été suffisamment importantes pour bouleverser le climat, polluer l'atmosphère, rejeter dans l'atmosphère des poussières qui ont fait baisser la température, détruire la couche d'ozone et augmenter l'importance du rayonnement ultraviolet nuisible pour les êtres vivants. En même temps, un volcanisme sous-marin intense a aussi rejeté des millions de km³ de laves, ce qui a causé des transgressions marines, l'arrivée d'eaux sur les continents et réduit encore un peu plus la biodiversité. Cependant la vie a repris le dessus et de nombreux groupes systématiques nouveaux ont pu se diversifier, en particulier parmi les Poissons, Céphalopodes (Ammonites et Bélemnites), Lamellibranches, Reptiles, premiers Mammifères et Insectes. Par exemple les Radiolaires ont perdu lors de la crise 6 familles sur les 18 connues au Permien mais 48 familles nouvelles sont apparues durant les 20 premiers millions d'années du Trias.

La *quatrième extinction*, beaucoup moins importante, a eu lieu à la fin du Trias (-208 MA). Elle correspond à la disparition de 20 % des familles.

La *cinquième extinction* s'est produite (-65 MA) à la limite du Crétacé et du Tertiaire (crise connue sous le nom de K/T). Elle a vu la disparition des Dinosaures, de 45 % des genres d'animaux marins, et en particulier de Foraminifères et de Mollusques. Ces extinctions de masse sont généralement attribuées à la chute d'une météorite

dite de Chicxulub du nom de la localité du Yucatan au Mexique où un impact de 145 km de diamètre a été découvert en 1981. Selon certains cette chute aurait provoqué un tsunami géant, le rejet dans l'atmosphère de poussières qui auraient inhibé la photosynthèse pour longtemps. Cette idée est contestée par des géologues qui estiment que la chute de la météorite est difficile à dater et qu'elle serait antérieure à la période d'extinctions. La théorie du volcanisme redevient donc en faveur en particulier parmi les géologues français. De plus, on n'explique toujours pas pourquoi tous les groupes n'ont pas été touchés de la même façon. Dans le milieu marin, les Poissons ont été peu affectés tandis que des organismes planctoniques comme les Ammonites, les Rudistes, ont disparu et que beaucoup de Foraminifères ont vu leur diversité fortement décroître. Dans le milieu terrestre, les Dinosaures ont disparu à l'exception des Théropodes dont les descendants sont les Oiseaux. Les plantes à fleurs et les Insectes ainsi que les Poissons d'eau douce ont peu souffert. De plus on vient de montrer que 40 lignées de mammifères modernes et autant de lignées d'oiseaux qui étaient déjà présentes bien avant la fin du Crétacé ont résisté à l'extinction de la crise K/T (BININDA-EDMONDS *et al.*, 2007). Selon la géologue GRETA KELLER il faudrait un cratère de plus de 250 km de diamètre pour expliquer les extinctions de masse. Or on n'en connaît pas de cette dimension.

3. Le bilan global

Les extinctions de masse constituent, avec la sélection naturelle, un des moteurs de l'évolution. Malgré l'existence de ces périodes d'extinctions, le nombre total de familles et d'espèces a augmenté depuis le Cambrien, tandis que le nombre de phylums a diminué. On estime que 2 à 4 % seulement des espèces animales et végétales ayant vécu sur terre ont survécu aux périodes d'extinctions. L'extinction des espèces est donc un processus normal que l'action de l'homme a augmenté d'une façon catastrophique. Les diverses espèces ont eu une durée de vie variable. Celles qui ont eu le plus de chances de survivre longtemps ont été celles qui avaient une grande aire de répartition et des stades larvaires mobiles. Les Invertébrés ont eu en général une durée de vie moyenne bien plus longue que les Mammifères. Les chiffres suivants ont été avancés (durées de vie moyenne en 10^6 années) : ensemble des groupes fossiles : 0,5 à 5 ; ensemble des Invertébrés ; 11 : invertébrés marins ; 5 à 10 : animaux marins ; 4 à 5 : diatomées ; 8 : dinoflagellés ; 13 : foraminifères planctoniques ; 7 : lamellibranches cénozoïques ; 10 : échinodermes ; 6 ; graptolites : 2 ; mammifères du Cénozoïque : 1 à 2.

Une cause possible d'erreurs dans l'étude des changements du nombre d'espèces au cours des temps est l'imperfection de nos connaissances en paléontologie. Le nombre de familles de Tétrapodes connus a augmenté de 70,9 % en 20 ans de recherche et le nombre de familles connues d'animaux marins a augmenté de

13 %. De plus, l'étendue de la répartition stratigraphique de certains groupes a été modifiée durant les dernières années. Curieusement ces nouvelles données n'ont pas modifié la date et la durée des phases d'extinctions et de recolonisations. Beaucoup de paléontologistes évaluent la diversité au niveau du genre ou même de la famille, ce qui conduit généralement à surévaluer l'ampleur des extinctions.

Après chaque période d'extinctions, la vie a rapidement repris, le plus souvent en quelques millions d'années seulement. Il semble que c'est l'affaiblissement de la compétition interspécifique qui a permis l'apparition et la diversification de nouveaux taxa. Ainsi, au début de l'ère secondaire, l'expansion des Lamellibranches a pu se faire grâce à la grande raréfaction des Brachiopodes qui étaient nombreux à l'ère primaire et qui occupent la même niche écologique. À l'ère tertiaire les mammifères ont pu se diversifier car beaucoup de reptiles de l'ère secondaire, dont les dinosaures, avaient disparu.

Résumé

La terre est âgée de 4,5 milliards d'années. Les plus anciennes traces de vie connues datent de 3,5 milliards d'années. Durant tout le Précambrien les fossiles sont rares, mal conservés et souvent difficiles à interpréter. Au Cambrien, lorsque les caractéristiques physico-chimiques du milieu sont devenues plus favorables, on constate l'apparition soudaine, à l'échelle géologique, de nombreuses formes animales. Cette apparition a été appelée « explosion cambrienne ». Le célèbre gisement du schiste de Burgess au Canada est daté de 530 millions d'années. Il a fourni des fossiles dont certains ont été interprétés comme des représentants de phylums disparus. Le gisement de Chengjiang en Chine a le même âge et a fourni plus d'une centaine d'espèces.

Depuis le Cambrien, l'évolution des espèces a été marquée par un ensemble de 5 grandes extinctions dues à des catastrophes importantes : glaciations, éruptions volcaniques, chutes de météorites. Les deux plus importantes extinctions se situent à la fin de l'ère primaire (limite du Permien du Trias), il y a 250 millions d'années, et à la fin de l'ère secondaire (limite du Crétacé et du Tertiaire), il y a 65 millions d'années. Des groupes systématiques entiers ont été éliminés lors de ces extinctions, mais la vie s'est vite reconstituée et la biodiversité a constamment augmenté jusqu'à nos jours, tout au moins au niveau des espèces. Cependant plusieurs groupes systématiques de niveau élevé comme les phylums ont disparu et n'ont pas été remplacés.