

1 Évolution de la vie sur Terre

1.1 Bactéries : l'apparition de la vie

Les premières traces de vie sur Terre date de **3,8 milliards d'années**. Il s'agit de stromatolithes¹ découverts en Australie et au Groenland.

Vers **3,5 milliards d'années**, on trouve les premiers fossiles de **bactéries**.

1.2 Eucaryotes : les origines des animaux et des plantes

Vers **1,9 milliards d'années**, on trouve les premiers fossiles de **cellules eucaryotes**².

Vers **1,8 milliards d'années**, on trouve les premières présences de **mitochondries** chez des eucaryotes.

Vers **1,5 milliards d'années**, on trouve les premières présences de **chloroplastes** dans des unicellulaires (ancêtres des végétaux) et les premières cellules de **champignons**.

Vers **1,4 milliards d'années**, on trouve les **premiers organismes pluricellulaires** chez les eucaryotes (des algues).

Vers **1,2 milliards d'années**, **première reproduction sexuée**.

Vers **650 millions d'années**, on trouve les premiers fossiles d'animaux moux proches des éponges actuelles.

Vers **530-560 millions d'années**, on retrouve les premiers **animaux à squelette**(coquille, carapace, os). On trouve dans ces couches géologiques une incroyable diversité d'organismes. Seuls quelques uns ont une **structure morphologique proche des grands groupes des êtres vivants actuels**.

Vers **470 millions d'années**, des plantes et les ancêtres des insectes (arthropodes) **colonisent le milieu continental** (au lieu du milieu aquatique).

Vers **445 millions d'années**, **extinction massive de l'Ordovicien** (85 % des espèces animales disparaissent, probablement lié à une glaciation).

1.3 L'ère des poissons

Vers **420 millions d'années**, premiers **poissons cartilagineux** semblables aux requins actuels.

Vers **380/360 millions d'années**, **extinction massive du Dévonien** (75 % des espèces disparaissent, les causes ne sont pas connues).

1.4 L'ère des amphibiens

Vers **360 millions d'années**, **premiers tétrapodes** semblables aux salamandres et tritons actuels. La diversification des arthropodes s'accroît. Les plantes ont des feuilles, des racines et des graines.

Vers **330 millions d'années**, les **premiers amniotes** apparaissent³. Les insectes sont capable de voler.

Vers **252 millions d'années**, **extinction massives du Permien-Trias** (95 % des espèces marines disparaissent et 70 % des espèces terrestres).

1. Les stromatolithes sont des roches dont la formation et la forme dépendent de bactéries.

2. Une cellule eucaryote est une cellule contenant un vrai noyau, à l'inverse des bactéries qui ne contiennent qu'un brin d'ADN.

3. Les amniotes ont une membrane autour de leur œuf ce qui leur permet de préserver leurs œufs de la dessiccation.

TABLEAU 25.1 Échelle des temps géologiques (géochronologie)

Durée relative des ères	Ères	Périodes	Époques	Âge (millions d'années écoulées)	Jalons de l'histoire de la vie
Cénozoïque	Cénozoïque	Quaternaire	Holocène	0,01	Temps historique 
			Pléistocène	1,8	Époque glaciaire ; apparition des Humains 
			Pliocène	5	Apparition des Homininés (ancêtres des Humains) 
		Tertiaire	Miocène	23	Poursuite de la radiation adaptative des Mammifères et des Angiospermes 
			Oligocène	35	Origine de la plupart des groupes de Primates, dont les Hominoïdes 
			Éocène	57	Suprématie accrue des Angiospermes ; poursuite de la radiation adaptative de la plupart des ordres de Mammifères modernes 
			Paléocène	65	Importante radiation adaptative des Mammifères, des Oiseaux et des Insectes pollinisateurs 
			Crétacé	144	Apparition des Plantes à fleurs (Angiospermes) ; extinction de nombreux groupes d'organismes, notamment les Dinosauriens, à la fin de la période (extinctions du Crétacé) 
			Jurassique	206	Persistance de la suprématie des Gymnospermes ; abondance et diversité des Dinosauriens 
		Trias		245	Suprématie des Gymnospermes (plantes dont les graines ne sont pas protégées par un ovaire) ; radiation adaptative des Dinosauriens 
Mésozoïque	Mésozoïque	Permien		290	Extinction de nombreux organismes marins et terrestres (extinctions massives du Permien) ; radiation adaptative des Reptiles ; origine des Reptiles pré-mammaliens et de la plupart des ordres d'Insectes modernes 
			Carbonifère	363	Immenses forêts de Vasculaires ; premières Plantes à graines ; origine des Reptiles ; suprématie des Amphibiens 
	Paléozoïque	Dévonien		409	Diversification des Poissons osseux ; apparition des Amphibiens et des Insectes 
		Silurien		439	Diversité des Poissons agnathes ; premiers Poissons à mâchoires ; diversification des premières Plantes vasculaires 
		Ordovicien		510	Abondance des Algues marines ; colonisation de la terre ferme par les Plantes et les Arthropodes 
		Cambrien		543	Radiation adaptative de la plupart des embranchements des Animaux modernes (explosion du Cambrien) 
				600	Apparition de divers Invertébrés à corps mou ; Algues diverses 
Précambrien	Précambrien			2 200	Fossiles d'eucaryotes les plus anciens 
				2 700	Accumulation du dioxygène dans l'atmosphère 
				3 500	Fossiles de procaryotes les plus anciens (premières cellules) 
				3 800	Premières manifestations de la vie 
				4 600	Origine approximative de la Terre 

FIGURE 1 – L'évolution de la vie des origines à nos jours.

1.5 L'ère des reptiles

Vers **250 millions d'années**, les **premiers archosauriens** (dinosaures « lézard terrible » et crocodiliens) apparaissent, ainsi que des « reptiles mammaliens » (therapsides).

Vers **201 millions d'années**, **extinction massive du Trias-Jurassique** (20 % des espèces marines disparaissent et 35 % des espèces terrestres). Cette extinction a permis la diversification des dinosaures et celle des mammifères, plus limitée.

Vers **200 millions d'années**, les **premiers mammifères** apparaissent (présence de mamelles, mais aussi de poils).

Vers **150 millions d'années**, les **premiers oiseaux** apparaissent (présence de plumes chez des archosauriens).

Vers **120 millions d'années**, une co-évolution se fait entre certains **plantes à fleurs et des insectes pollinisateurs**.

Vers **100 millions d'années**, les **premiers mammifères placentaires** apparaissent (gestation complète à l'intérieur du ventre de la mère).

Vers **65 millions d'années**, **extinction massive du Crétacé** (50 % des espèces disparaissent, dont les dinosaures).

1.6 L'ère des mammifères

A partir de **55 millions**, on observe une très grande diversification des mammifères. On peut citer les groupes suivants :

- cétacés (dauphins, baleines, ...);
- carnivores (ours, tigres et apparentés, phoques, ...);
- proboscidiens (éléphants);
- rongeurs;
- ruminants;
- chauve-souris;
- et évidemment primates.

2 Des primates à l'homo sapiens

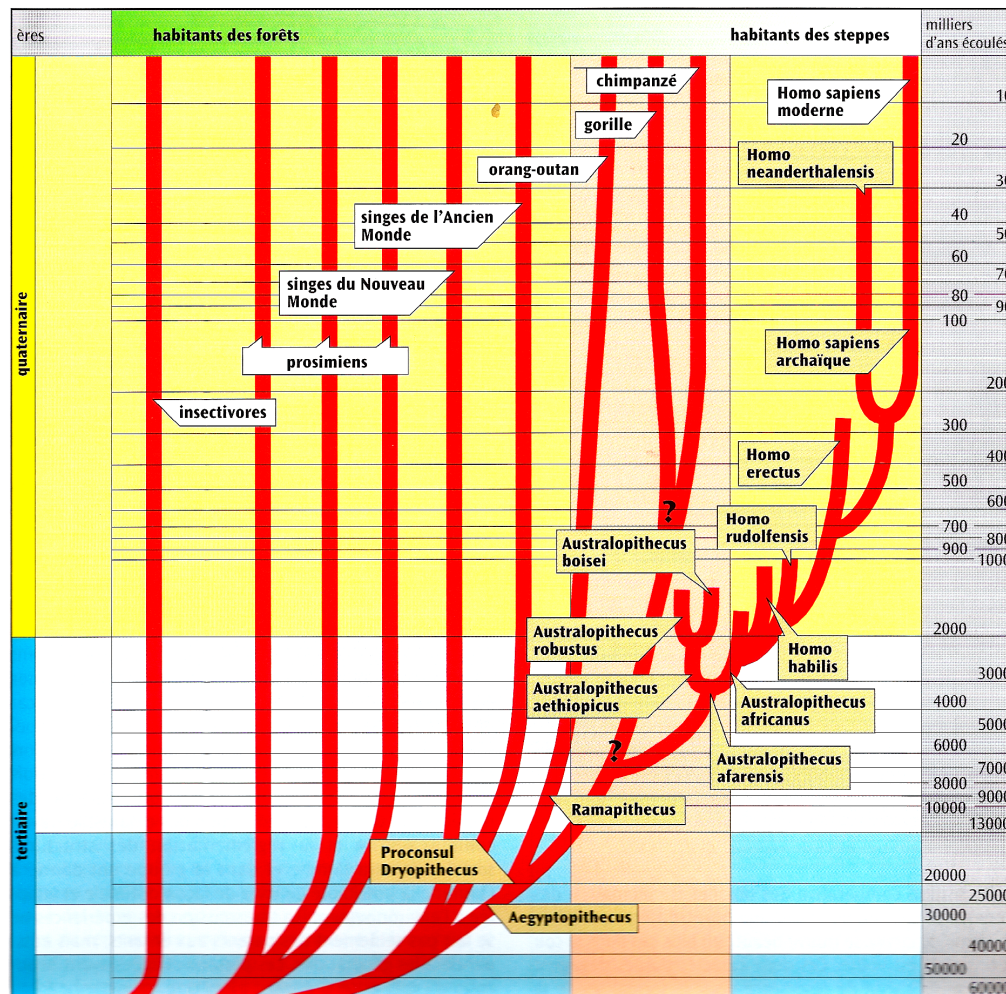


FIGURE 2 – L'évolution de l'homme de 50 millions d'années à nos jours.

2.1 Les premiers primates

Vers **50 millions d'années**, les **premiers primates** à vision binoculaire⁴, à griffes plates (ongles) et à pouces opposables⁵ apparaissent.

Vers **20 millions d'années**, des **primates avec coccyx** (avec fusion des dernières vertèbres et donc sans queue, ce type de primate sont appelés « singes supérieurs ») s'installe dans les savanes, alors qu'auparavant il était arboricole (lié à la forêt).

4. dont les orbites sont perpendiculaires à la face, ce qui permet d'évaluation des distances

5. ce qui permet la préhension (le fait d'attraper des d'objets)

2.2 Les premiers hominins

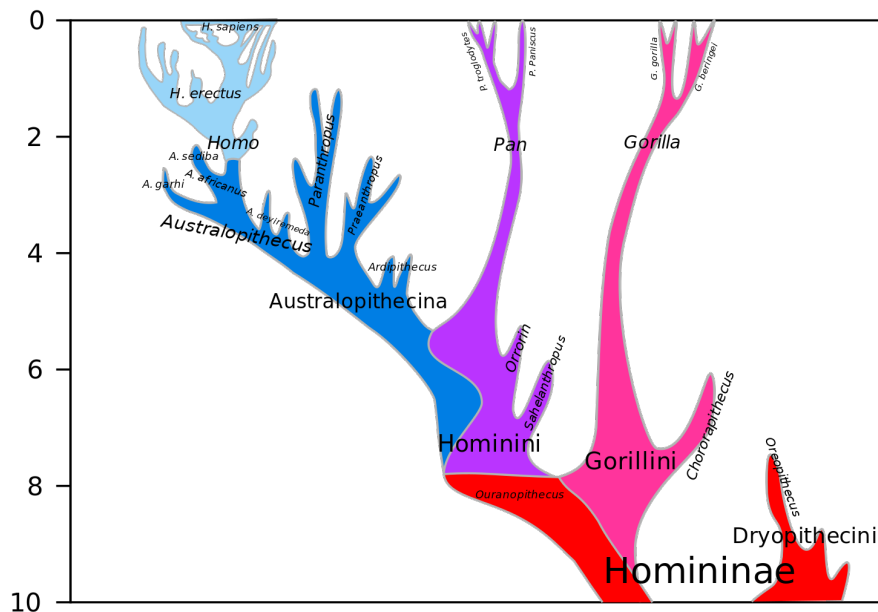


FIGURE 3 – La lignée des Homininés (l'axe vertical est en millions d'années).

Vers **6 à 7 millions d'années**, présence du plus ancien ancêtre commun avec nos plus « plus proches cousins » : le chimpanzé et le bonobo.

Vers **3,6 millions d'années**, l'**australopithèque** (*Australopithecus*⁶ spp.⁷) apparaît qui se caractérise par sa voûte plantaire qui lui permet un déplacement bipède (la marche) et probablement par une réduction de sa pilosité. Cependant, le volume crânien reste faible ($\pm 500\text{cm}^3$). L'australopithèque utilise des outils.

2.3 La diversification du genre Homo

Vers **2 millions d'années**, le **genre Homo** apparaît en Afrique sous forme de nombreuses espèces (dont *Homo erectus*). Il se caractérise par une augmentation du volume du cerveau (de 600 à 1000cm^3 , une augmentation de la taille et une réduction de la mâchoire inférieure (profil droit).

Vers **1 millions d'années**, **Homo erectus se disperse de l'Afrique vers l'Eurasie**. Des traces d'utilisation du feu est retrouvée à partir de 400 000 ans.

Vers **300 à 200 000 ans**, **Homo sapiens** apparaît en Afrique (volume crânien $> 1300\text{cm}^3$, -volume crânien moyen d'*Homo sapiens* actuel 1350cm^3).

Vers **100 000 ans**, **Homo Sapiens se disperse de l'Afrique vers l'Eurasie**.

Vers **40 000 ans**, dernière présence de l'**homme de Denisova**. L'homme de Denisova n'est connu que sous forme de phalanges, de molaire et une demi-mandibule. Cependant de l'ADN a pu être extrait de certains de ces échantillons. Ces analyses ont montrés une origine phylogénétique ancienne de ces fragments ($\pm 400\text{000}$ ans). De plus, il a été montré une présence de gènes denisoviens dans les populations autochtones d'Extrême-Orient et d'Océanie.

Vers **30 000 ans**, dernière présence de l'**homme de Néanderthal**. L'homme de Néanderthal est une forme d'*Homo* présente principalement en Europe occidentale depuis au moins 430 000

6. Étymologiquement le singe « pithecus » du sud « australo ».

7. spp. signifie « diverses espèces ».

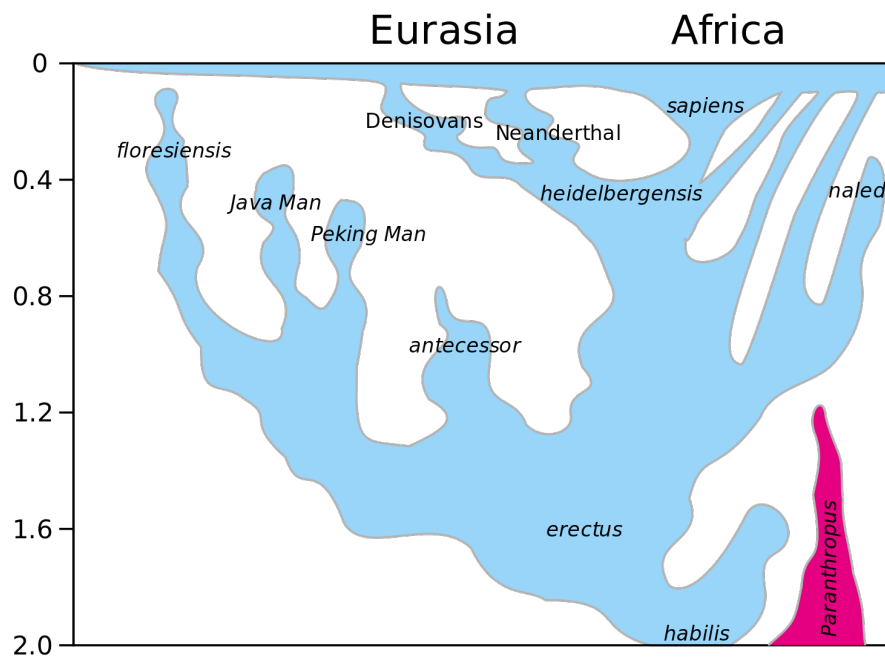


FIGURE 4 – La lignée du genre Homo par continent (l'axe vertical est en millions d'années).

ans. L'homme de Néanderthal non seulement produit des outils, mais a des formes d'arts (gravure sur pierre et sur os, peinture sur pierre). De plus, il a des rites funéraires (inhumation des morts). L'homme de Néanderthal avait un volume crânien assez élevé (jusque $1\,600\text{ cm}^3$). Il a été montré que différents gènes néanderthaliens sont présents chez l'homme moderne. Cependant, il a aussi montré que le chromosome Y de l'homme de Néanderthal était trop différent de l'homme moderne pour qu'une descendance mâle soit fertile.

L'interprétation habituelle est que l'homme de Denisova et l'homme de Néanderthal seraient des évolutions d'Homo ayant vécu entre 400 000 et 500 000 ans, mais qu'il y aurait eu de nombreuses hybridations entre ces espèces d'Homo et l'homme moderne (Homo sapiens). De nombreuses discussions et controverses continuent à s'effectuer entre scientifiques à ce propos.

Vers **12 000 ans**, dernière trace de l'**Homme de Flores**(descendant de l'Homo erectus).

Entre **30 000 et 10 000 ans**, Homo sapiens se répand de l'Eurasie vers le **continent américain**.

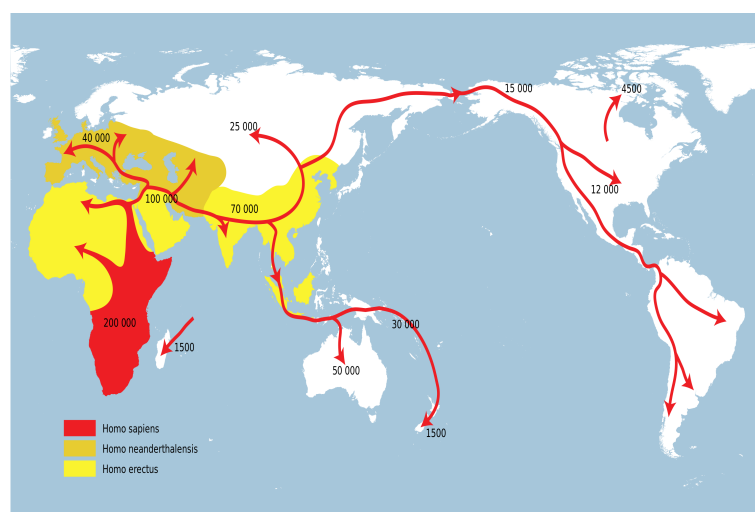


FIGURE 5 – Dispersion du genre Homo.

3 Fossilisations et techniques de datation

3.1 Fossilisation

Il faut des conditions particulières pour qu'un organisme vivant se fossilise.

Ce processus s'opère le plus souvent par la minéralisation de l'organisme : les tissus sont remplacés par des substances minérales, pétrifiés au sein de la roche sédimentaire, roche par excellence pour la conservation de fossiles. On dispose alors d'un « moule » naturel de l'organisme.

Il peut y avoir, plus rarement, une conservation de la matière organique, dans les cas de congélation (celle des mammouth dans le pergélisol), de momification (momification dans du bitume, la diatomite (roche siliceuse)), d'inclusion dans de l'ambre. La conservation est meilleure et plus fréquente pour les parties rigides de l'organisme. Les tissus mous ne sont préservés de la décomposition qu'en l'absence d'oxygène, ce qui se produit parfois dans des dépôts de vase ou de boue.

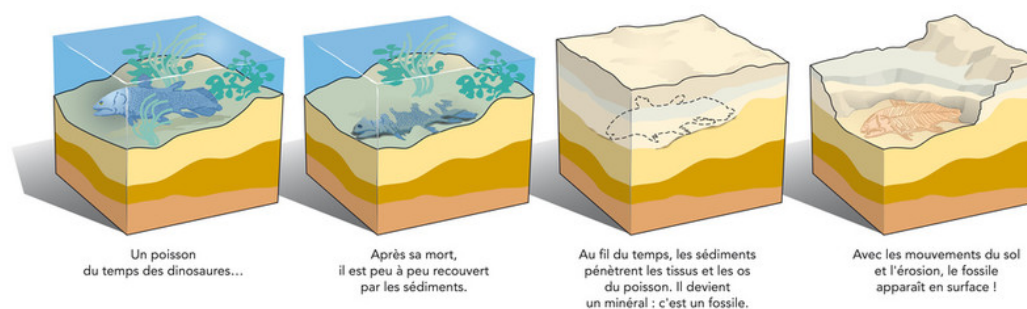


FIGURE 6 – Le processus de fossilisation.

3.2 Datation relative

La datation relative se base essentiellement sur les principes fondamentaux de la méthode stratigraphique, développée depuis le XVIII^e siècle, à savoir le principe de continuité (une même couche a le même âge sur toute son étendue) et le principe de superposition (une couche est plus récente que celle qu'elle recouvre). La bio-chronologie, basée sur l'étude du contenu paléontologique des couches géologiques, était une source importante d'informations pour établir l'âge relatif de certains terrains.

Donc, les couches superficielles sont les plus récentes et plus on creuse profondément plus « retourne dans le temps ». Si on trouve certains fossiles d'espèces qui ont vécu à des moments précis, on peut associer des couches de lieux différents et savoir qu'elles datent d'un même époque.

Cette méthode permet d'ordonner dans les temps les différents fossiles, mais pas directement de les dater de façon précise.

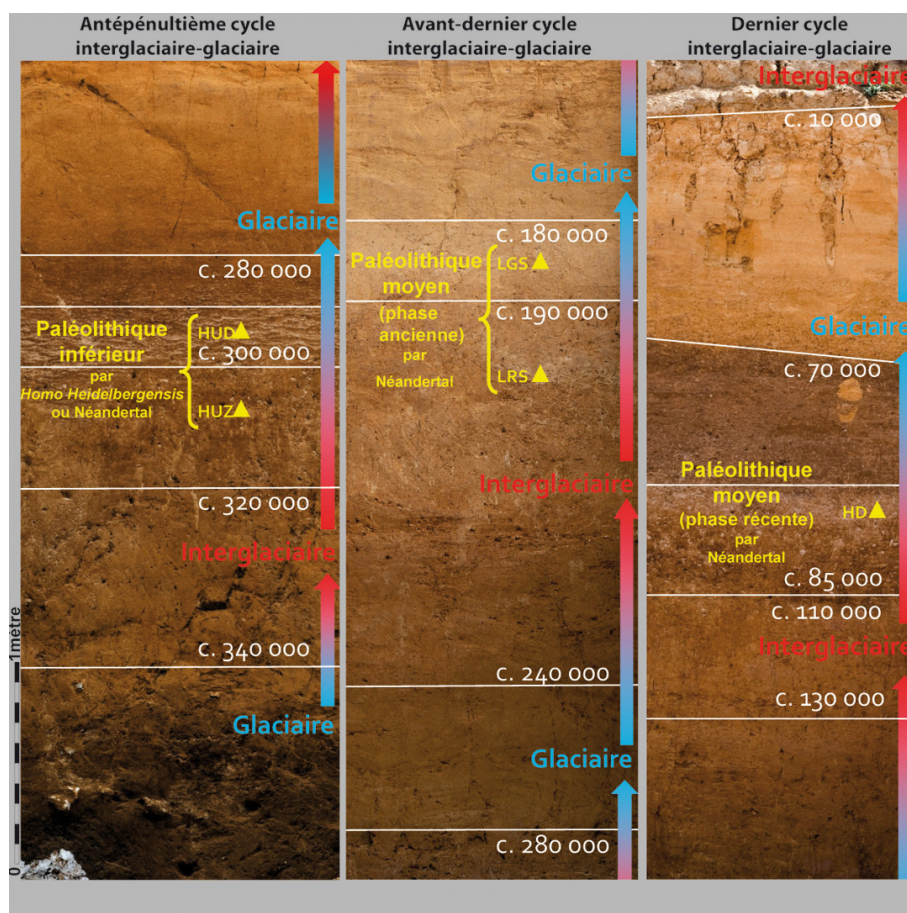


FIGURE 7 – Les différentes couches au nord de la Seine jusque 300 000 ans.

3.3 Datation absolue par radio-isotopes

La plupart des méthodes de datation absolue se basent sur la décroissance radioactive des atomes. Chaque atome a des isotopes différents (un nombre de neutron différent par noyau atomique). Certains de ces isotopes sont instables et se transforment en isotope stable. En connaissant la vitesse de décroissance de ces isotopes, on peut déterminer le moment de formation de l'échantillon (roches, os, ...).

Suivant l'époque à déterminer, on choisira un atome adapté (le carbone 14 permet de dater précisément jusque 35 000 ans, mais le Potassium/Argon ou le Rubidium/Strontium permettent de dater des âges géologiques plus anciens).

3.4 Datation par horloge moléculaire

La comparaison de séquences d'ADN et/ou de protéines chez les espèces vivantes peut nous renseigner sur la chronologie des différents événements évolutifs qui ont marqué l'histoire de la vie sur terre. En effet, l'hypothèse de l'horloge moléculaire suggère que la vitesse d'accumulation des changements dus aux mutations dans les macromolécules biologiques est en moyenne constante sur de longues périodes. En comparant les séquences de base nucléiques ou d'acides aminés d'espèces actuelles, on peut donc prédire le temps nécessaire aux modifications de séquence de ces molécules.

Couplée à des observations paléontologiques, elle permet donc d'estimer les âges absolus de divergence des espèces.

Trois principaux écueils limitent pourtant la fiabilité des datations moléculaires :

- l'échantillonnage d'un nombre limité d'espèces et de gènes,

- l'incorporation de calibrations fossiles trop isolées ou ponctuelles,
- et surtout, l'existence d'hétérogénéités de taux de mutation entre lignées.

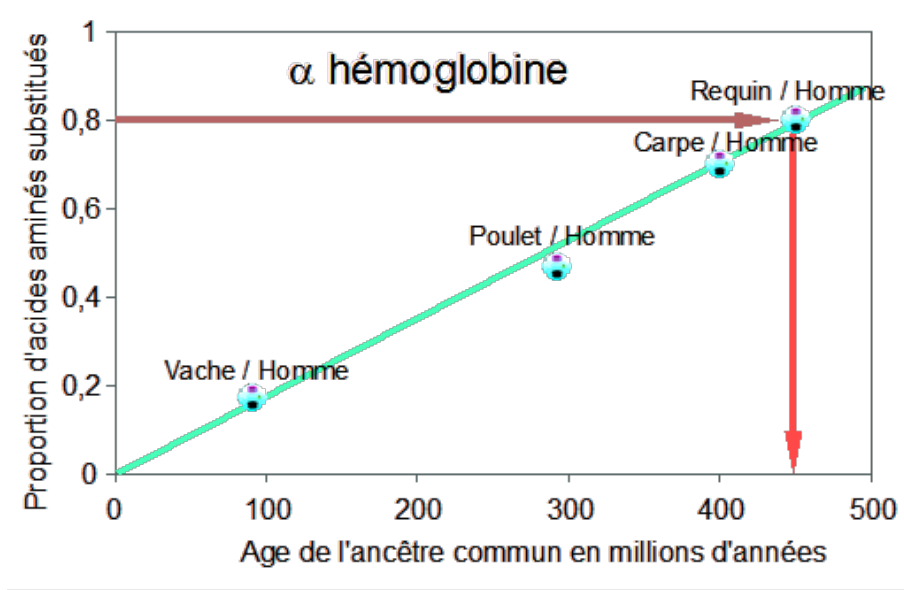


FIGURE 8 – Horloge moléculaire de l'hémoglobine des différents vertébrés.

Néanmoins, la méthode des horloges moléculaires appliquée à de riches échantillonnages tant taxonomiques que génomiques a récemment apporté des solutions convaincantes. Elle suggère, par exemple, que l'âge débattu de la diversification des métazoaires bilatériens⁸ puisse se situer entre 642-761 millions d'années (Ma), environ 100 Ma avant l'explosion cambrienne, et que celui de la diversification des mammifères placentaires se situe il y environ 100 Ma, bien avant la limite Crétacé/Tertiaire marquant l'extinction des dinosaures.

Cette méthode a permis de valider la chronologie d'apparition de groupes d'êtres vivants ou de remettre en question la chronologie d'autres groupes.

8. Les animaux supérieurs ayant une symétrie bilatérale.

4 La classification phylogénétique du vivant

Il est important de bien distinguer trois actions distinctes :

— **Ranger** (mettre en rang) s'est ordonner.

On peut ordonner les êtres vivants sur base de leur taille, de leur poids ou toutes autres grandeurs (profondeur, salinités, concentrations, ...). Cependant, ce type de rangement n'aide en aucune manière un regroupement de ces êtres vivants, car le choix de ces mesures sont arbitraires.

— **Trier** s'est identifier.

L'objectif d'un tri est d'identifier les objets. Dans le cas du vivant, il faut pouvoir distinguer différentes espèces sur un territoire donné. Des ouvrages écrits de détermination des espèces (Faune et flore) existent qui permettent, sur un territoire donné, de :

— lister les espèces présentes ;

— proposer un arbre de décisions (sur la présence de caractères ou sur des grandeurs diverses) qui permettra le tri et donc l'identification.

Il peut arriver que la présence de caractères soit en concordance avec la classification, mais il se peut aussi que ce soit aussi que des critères de taille ou d'autres grandeurs soit utilisés. Dans tous les cas, ces ouvrages n'utiliseront pas tous les caractères permettant une classification :

— soit parce que ces caractères ne sont pas directement accessibles (utilisation de microscope, mort de l'individu, séquençage d'ADN ou de protéines) ;

— soit parce que sur le territoire donné, le caractère n'est pas déterminant (absence d'espèces intermédiaires)

— **Classer** s'est regrouper.

Classer s'est mettre ensemble ce qui est semblable. Cela ne peut se faire que sur base de caractères communs.

Actuellement, la nouvelle classification phylogénétique des êtres vivants se généralise au détriment de l'ancienne classification basée sur des classes et des ordres. Comme son nom l'indique, elle se base sur l'évolution (« phylo ») et sur la génétique.

Si de nombreux groupes de l'ancienne classification ont été validés, d'autres ne l'ont pas été (invertébrés, poissons, reptiles, ...).

La règle principale est qu'elle se base sur la présence d'un caractère physique. Il est donc nécessaire de bien intégrer :

— qu'il s'agit d'un caractère et non d'une fonction (plumes -caractère- versus vol -fonction-, par exemple) ;

— qu'il s'agit de la présence physique et non de l'absence d'un caractère (présence d'un coccyx versus absence de queue).

Ce caractère physique peut être une séquence de base d'ADN ou une séquence d'acides aminés dans une protéine. Une difficulté peut être une convergence évolutive -l'apparition de mêmes caractères dans des branches séparées- (que l'analyse génétique et des protéines permet de clarifier) et la régression de certains caractères au cours du développement (que l'embryologie permet de résoudre).

Des matrices de présences de caractères physiques permettent d'effectuer informatiquement des classifications automatiques (cfr. exercices vus au cours).

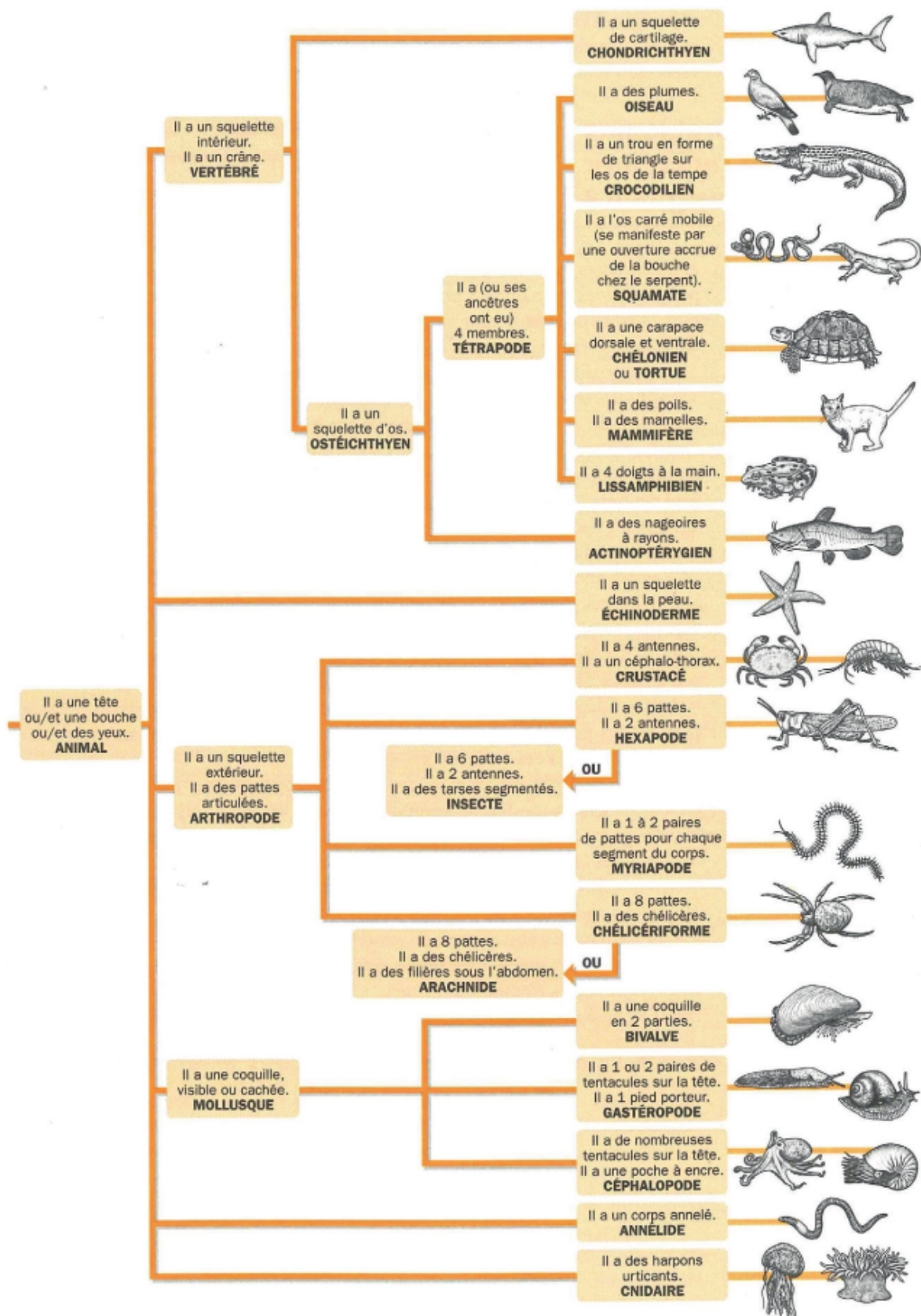


FIGURE 9 – La classification phylogénétique simplifiée des animaux.

5 Le développement de la vie

Nous ne disposons pas d'une machine à remonter le temps. Sur base des informations actuelles, il n'est pas possible de dépasser la vitesse de la lumière. Et donc, de « voir » dans le passé. Le présent est donc le seul moyen de comprendre le passé.

5.1 Premières molécules organiques

En 1953, les expériences de Miller⁹, et par la suite d'autres expériences similaires, ont montré que différentes molécules propres au fonctionnement des êtres vivants peuvent être produites par des mécanismes physico-chimiques.

L'expérience de Miller consiste à reproduire les conditions terrestres existantes il y a plus de 4 milliards d'années. Les conditions sont à cette époque extrêmement réductrices (cfr. cours sur les classes de réactions chimiques). L'expérience consiste à soumettre des molécules minérales à de fortes températures (plusieurs centaines de degrés Celsius) et à des décharges électriques pendant plusieurs semaines. Ces molécules composant cette « soupe primordiale » sont principalement le CO_2 , le méthane (CH_4), l'ammoniac (NH_3) et du dihydrogène (H_2).

Ce type d'expériences a permis de synthétiser les molécules suivantes :

- des sucres,
- des lipides,
- des acides aminés,
- et des composants des acides nucléiques.

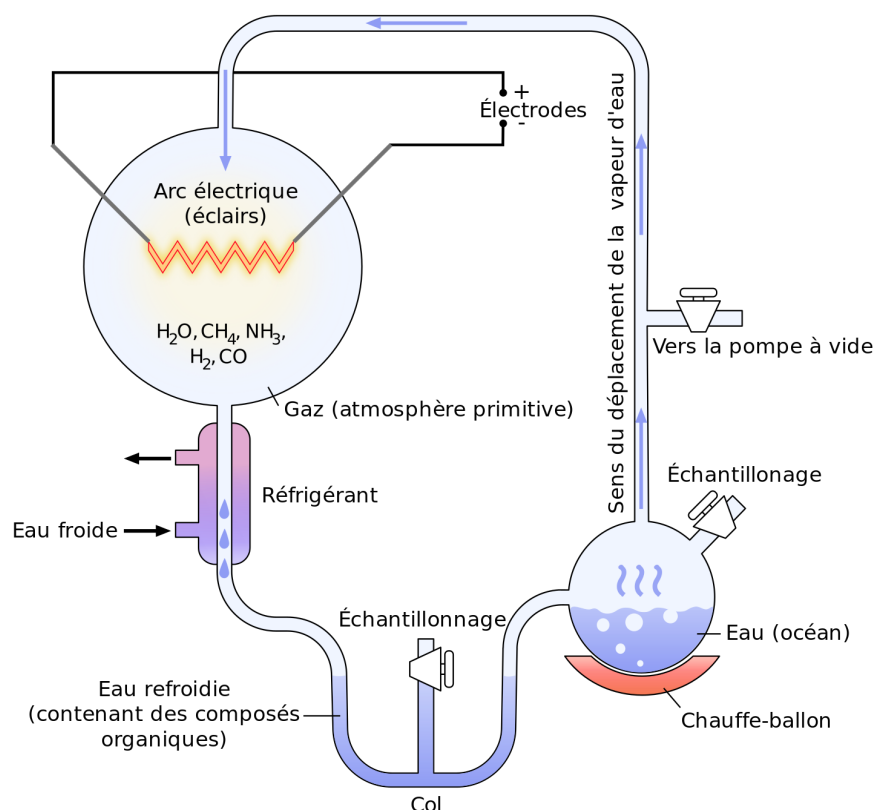


FIGURE 10 – L'expérience de Miller.

9. Stanley Miller, scientifique américain, 1930-2007

5.2 Apparition de la membrane cellulaire

Oparine¹⁰ a montré que certaines substances lipidiques pouvaient s'organiser pour isoler deux zones aqueuses, une zone « extérieure » et une zone « intérieure ». En séparant ces deux zones, des réactions chimiques différentes peuvent s'y produire.

Plusieurs hypothèses scientifiques existent actuellement sur l'apparition de la première cellule :

- La panspermie. Les premières cellules seraient issues de « bombardements extraterrestres »¹¹.

Ceci est conforté par les faits suivants :

- des bactéries peuvent résister à l'entrée dans l'atmosphère terrestre si l'astéroïde porteur dépasserait le mètre ;
- sous forme de coques des bactéries peuvent résister au vide spatial et aux rayonnements solaires toxiques ;

Le principal contre-argument que l'on peut faire à cette théorie est qu'elle ne répond pas à la question de l'origine de la vie, mais reporte la question à une origine extra-terrestre.

- L'abiogenèse. La formation « in situ »¹² : les premières cellules biologiques seraient apparues sur la Terre à partir de matières minérales. Les expériences de Miller et d'Oparine confortent cette version. Des acides aminés (produits selon l'expérience de Miller) seraient isolés dans des coacervats permettant la formation des premières protéines qui auraient assemblés des acides nucléiques, ce qui aurait produit la première cellule.



FIGURE 11 – Photographie de coacervats.

10. Alexandre Oparine, scientifique russe, 1894/1980

11. dans le sens, hors de la Terre, des astéroïdes ou tout autre chute auraient apportés ces premières cellules biologiques

12. « sur site », sur Terre

5.3 Endosymbiose

Le réticulum endoplasmique et la membrane nucléaire seraient le résultat d'une invagination de la propre membrane de la cellule.

Les cellules eucaryotes comportent toutes des mitochondries¹³. Les mitochondries ont :

- une taille comparable aux bactéries ;
- une membrane interne de type bactérienne ;
- leur propre ADN sous forme d'anneau comme les bactéries.

On peut donc conclure de façon raisonnable que l'apparition des mitochondries dans les cellules eucaryotes résulte de l'intégration d'une bactérie à l'intérieur d'une cellule.

Les cellules eucaryotes végétales comportent toutes des chloroplastes¹⁴. Les chloroplastes ont :

- une taille comparable aux bactéries ;
- une membrane interne de type bactérienne ;
- leur propre ADN sous forme d'anneau comme les bactéries.

On peut donc conclure de façon raisonnable que l'apparition des chloroplastes résulte de l'intégration d'une bactérie photosynthétique (de type cyanobactérie) à l'intérieur d'une cellule eucaryote.

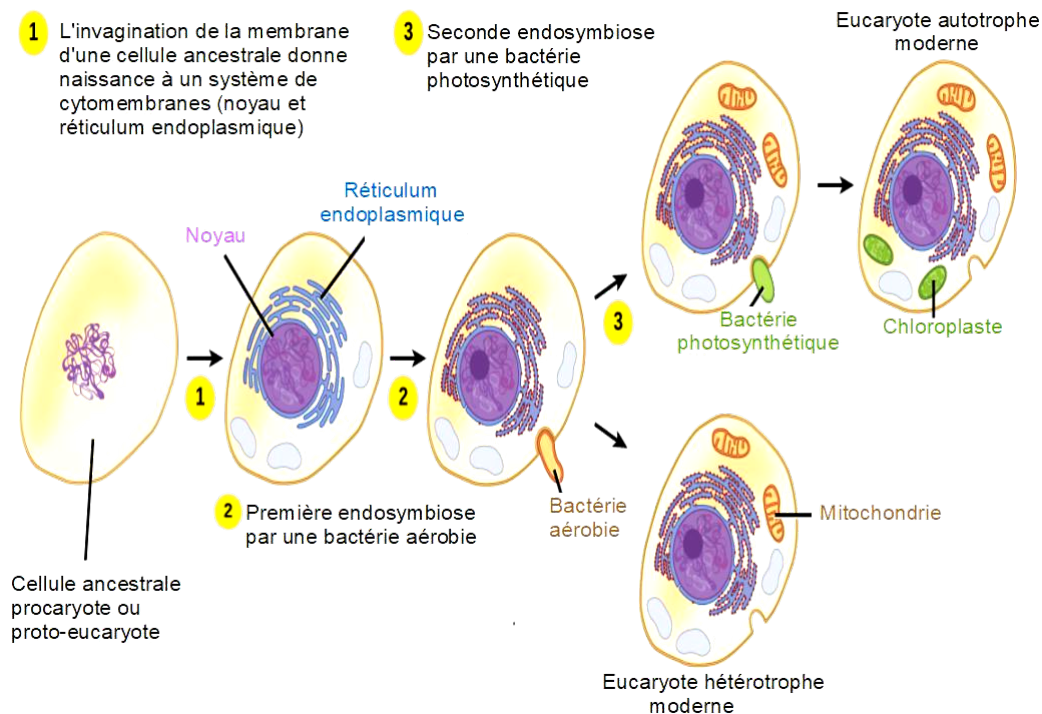


FIGURE 12 – L'endosymbiose des mitochondries et des chloroplastes.

13. Les mitochondries sont des organites cellulaires responsables de la production énergétique.

14. Les chloroplastes sont des organites cellulaires responsable de la photosynthèse

5.4 La variabilité génétique et les mutations

Les anomalies chromosomiques ou géniques peuvent produire l'apparition de nouveaux caractères, de nouvelles structures. De plus, la sexualité par le brassage chromosomique, permet de multiplier et transmettre cette nouvelle information génétique.

5.5 La sélection naturelle ou l'adaptation au milieu

Si un nouveau caractère apparaît et que ce caractère donne un avantage comparatif dans la reproduction, alors ce caractère se multipliera. Ce caractère peut être lié à l'alimentation, à une moindre prédation, ou une attirance sexuelle plus élevée.

Malgré ce qui est parfois véhiculé, c'est loin d'être la « loi du plus fort », mais la loi du plus adapté. Chaque espèce va trouver une niche écologique où il sera le plus performant dans sa reproduction. De nombreuses études montrent que la coopération (cfr. coévolution) est tout aussi importante que la compétition entre espèces.

5.6 La notion d'espèce

Une espèce est une population d'individus qui sur un territoire donné peuvent se reproduire et donner une descendance fertile. La notion d'espèce liée à la morphologie est abandonnée car souffrant de trop d'exceptions (chenille/papillon, dimorphisme sexuel)¹⁵.

5.7 La création d'une nouvelle espèce : la spéciation

Pour qu'une nouvelle espèce apparaisse, il faudra une succession de nouveaux caractères qui séparera peu à peu le groupe d'individus de sa population d'origine. Cela peut se produire par un isolement géographique progressif (spéciation allopatrique, séparation par une chaîne de montagne, un éloignement géographique, ...) ou par un isolement reproductif progressif (spéciation sympatrique, dérive génétique, absence de procréation entre les 2 sous-espèces, ...).

15. morphologie différente pour le mâle et la femelle, la veuve noire, par exemple, ou le paon

5.7.1 Le cas du pouillot verdâtre

Le pouillot verdâtre est une espèce de passereau vivant au départ (il y a 10 000 ans) au pied sud de l'Himalaya (sous-espèce *trochiloïdes*). Suite à la fin de la glaciation, il a pu remonter vers le nord par l'est (sous-espèce *ludlowi* et par l'ouest (sous-espèce *obscuratus*). Les sous-espèces se distinguent par leur chant et leur plumage. Ces populations ont continué vers le nord en contournant complètement l'Himalaya pour former à l'est la sous-espèce *plumbeitarsus* et à l'ouest la sous-espèce *vindanus*.

Si la population initiale (*trochiloïdes*) se reproduit avec *ludlowi* et *obscuratus*, *plumbeitarsus* et *vindanus* ne se reproduisent jamais ensemble (probablement à cause de leur chant trop différent). On assiste donc à la création de deux espèces séparées. Du fait, que cette spéciation se fait sur des territoires différents, on appelle **spéciation allopatrique** ce type de spéciation.

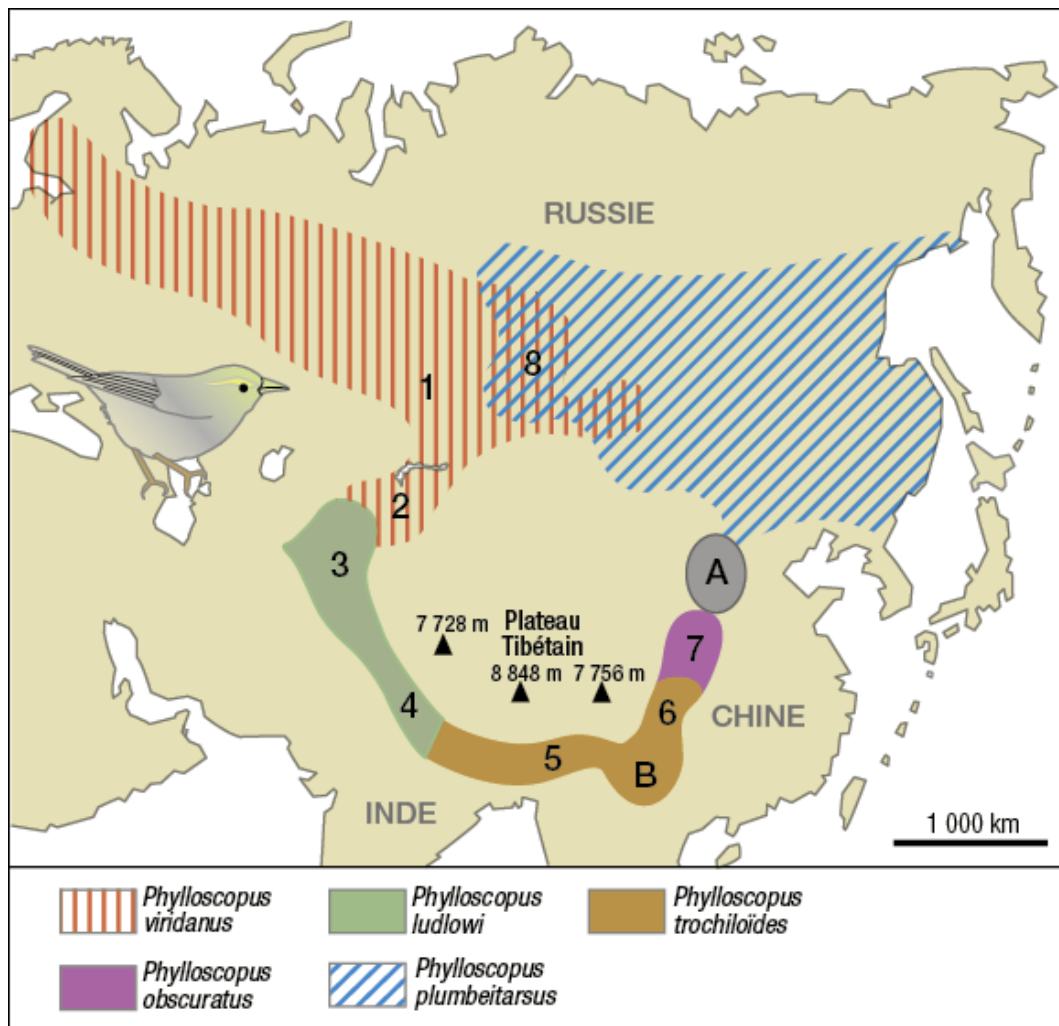


FIGURE 13 – La migration du pouillot verdâtre.

5.7.2 Le cas du phalène du bouleau

La phalène du bouleau est un papillon inféodé aux bouleaux dont les ailes sont claires (pour se dissimuler des prédateurs sur le tronc du bouleau). Au XIX^{ème} siècle, près de Londres, la pollution a entraîné le noircissement du tronc des bouleaux. Une mutation s'est produite entraînant le noircissement des ailes. Ces ailes sombres donnaient un avantage comparatif aux individus qui en disposaient (moins de prédation). La population des phalènes du bouleau près des zones polluées a été rapidement constituée que d'individus à ailes sombres, tandis les individus à ailes claires continuaient à perdurer sur les zones non-polluées.

Ce type de début de spéciation se faisant sur un seul territoire, on appelle **spéciation sympatrique** ce type de spéciation.



FIGURE 14 – Deux phalènes du bouleau, l'un à ailes claires, l'autre à ailes sombre, sur un bouleau clair.

5.8 Coévolution et domestication

De nombreuses espèces ont créés des dépendances fortes entre elles.

Par exemple, les insectes butineurs sont liés aux plantes et inversement. L'être humain est dépendant des bactéries qui vivent en symbiose dans son tube digestif. On appelle ce mécanisme de dépendance mutuelle de **coévolution**.

Une coévolution particulière s'est développée lorsque l'être humain a commencé à sélectionner d'autres vivants sur base de caractères qu'il trouvait intéressants¹⁶. La sélection naturelle est devenue une sélection artificielle. Cette domestication n'a pas été profitable qu'à l'être humain, mais aussi aux espèces domestiquées qui ont vu leur population augmentée. Ces espèces domestiquées restent pour la plupart inter-fécondes avec leur population sauvage (loup/chien, auroch/vache, chèvre, mouton, ...).

16. céréales : le nombre et la grosseur des graines, l'auroch (ancêtre de la vache) : la quantité de lait ou de viande produite, la poule : la taille et la quantité d'œufs, le loup (l'ancêtre du chien) : sa capacité de chasse ou de garde du troupeau, ...

6 L'origine de la vie dans l'Histoire

6.1 Le créationnisme

Durant toute l'histoire humaine, l'ensemble des civilisations croyait en la création du monde par leurs dieux. Dans la tradition judéo-chrétienne, suivant précisément la Bible, la création du Monde s'était faite -4004 av J-C. Le monde, y compris les êtres vivants avait été fait une fois pour toute. C'est le créationnisme.

6.2 Le catastrophisme

Au XVIIIème siècle, la découverte de fossiles d'animaux inconnus ébranle cette croyance. Pour tenir compte de ces découvertes, on imagine une série de catastrophe suivis par une création de nouvelles espèces par Dieu. C'est le catastrophisme.

6.3 Le transformisme

A la même époque, Carl Linné, un biologiste suédois, crée une nouvelle classification des êtres vivants sur les ressemblances morphologiques des individus. Il crée la notion d'espèce toujours utilisée actuellement. Actuellement, une espèce est une population d'individus pouvant se reproduire ensemble. Du fait des transitions entre espèces, Cette classification montre par les transitions entre les espèces le fait évolutif.

Au début du XIXème siècle, grâce à l'anatomie comparée, Lamarck, un noble français, pose pour la première fois l'hypothèse du transformisme. Les êtres vivants se transformeraient au cours de l'histoire. Un individu subirait au cours de son histoire des transformations qu'il communiquerait à sa descendance. Cependant, son explication n'est observée pas.

Selon Lamarck, une girafe en tirant sur son cou augmenterait la longueur de ce cou et, on ne sait comment, transmettrait ce caractère « long cou » à sa descendance.



FIGURE 15 – L'évolution du vivant selon Lamarck.

6.4 L'évolutionnisme

A la fin du XIX^{ème}, Charles Darwin, un biologiste anglais, propose l'évolutionnisme qui non seulement montre que les êtres vivants évoluent, mais aussi apporte une explication à cette évolution : la sélection naturelle. Si par hasard, un individu a un caractère qui lui donne un avantage compétitif par rapport aux autres individus, il aura plus de chances de se reproduire et donc de donner une descendance qui aura le même caractère.

Dans une population de girafes, certaines auraient un cou plus long que d'autres par variabilité génétique. Ces girafes peuvent plus facilement se nourrir et donc se reproduire. Les girafes à long cou transmettent ce caractère à leur descendance.

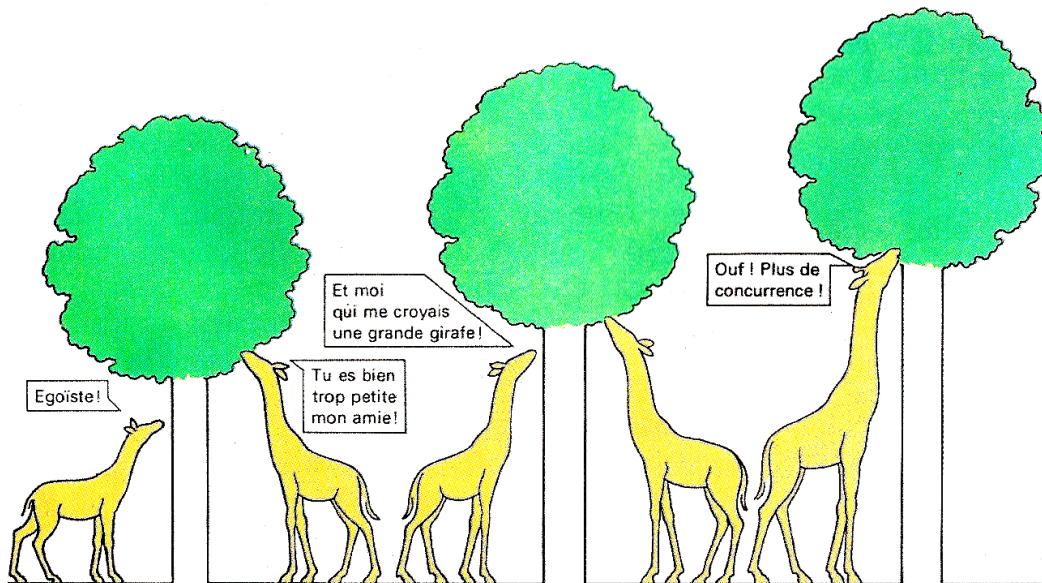


FIGURE 16 – L'évolution du vivant selon Darwin.

6.5 La théorie synthétique

La découverte de la génétique (la transmission des caractères héréditaires à travers l'ADN), ainsi que l'écologie des populations et la dérive des continents au début du XX^{ème} siècle renforcera non seulement l'évolution, mais aussi la sélection naturelle. En effet, la découverte de la mutation génétique donnait l'élément aléatoire nécessaire. La mutation modifie l'ADN qui lui-même modifie les protéines (de structure ou de métabolisme) qui produisent de nouveaux caractères.

7 L'origine commune de tous les espèces vivantes

7.1 La génétique

Tous les êtres vivants ont le même code génétique (bases de l'ADN) et les espèces proches ont beaucoup de séquence d'ADN en commun.

7.2 La structure des protéines

Tous les êtres vivants ont les mêmes acides aminés et espèces proches ont beaucoup de protéines en commun ou de séquences d'acides aminés en commun.

L'arbre phylogénétique du cytochrome c

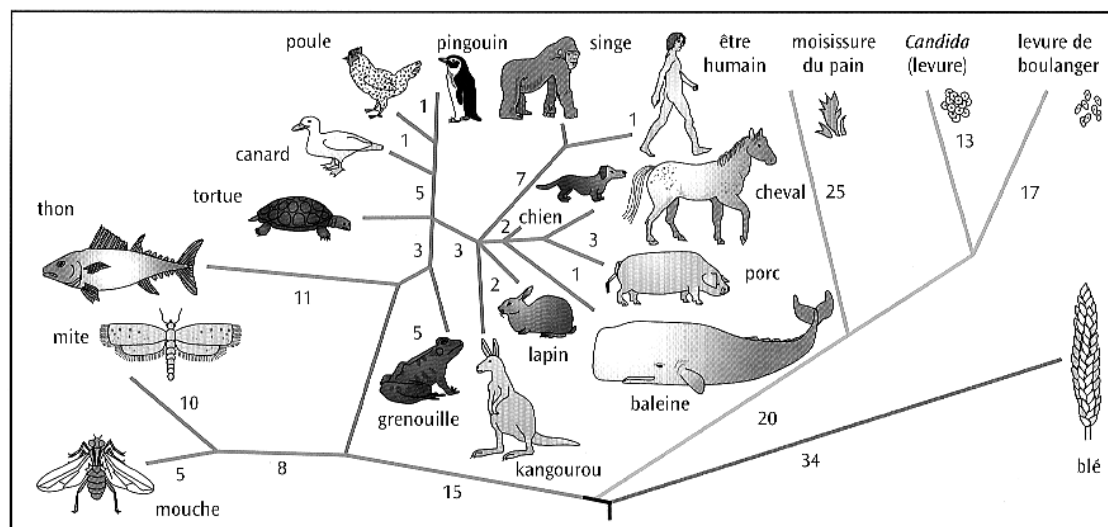


FIGURE 17 – L'évolution selon les modifications d'une protéine (le cytochrome C).

7.3 La structure de la cellule

La base de la structure des cellules est la même chez tous les êtres vivants (membrane, noyau, mitochondrie, ...).

La structure cellulaire est d'autant plus différente que les espèces sont éloignées en terme d'évolution.

7.4 L'anatomie comparée

L'anatomie comparée des êtres vivants actuels (membre antérieur, encéphale, circulation, crâne...) correspond à l'évolution des êtres vivants.

On peut voir dans le schéma ci-dessous la correspondance des os chez différents tétrapodes.

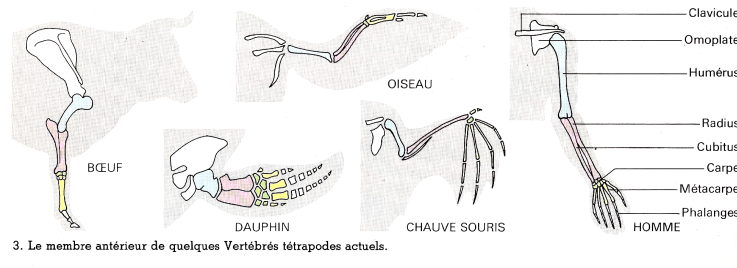


FIGURE 18 – Homologie des os des membres antérieurs des tétrapodes.

7.5 La paléontologie

L'anatomie comparée des fossiles et leur datation (par radioactivité ou par couche géologique) a montré l'évolution.

L'exemple ci-dessous montre la formation de diverses espèces d'éléphants actuels (en passant par le mammouth) à partir d'un ancêtre datant de 40 millions d'années.

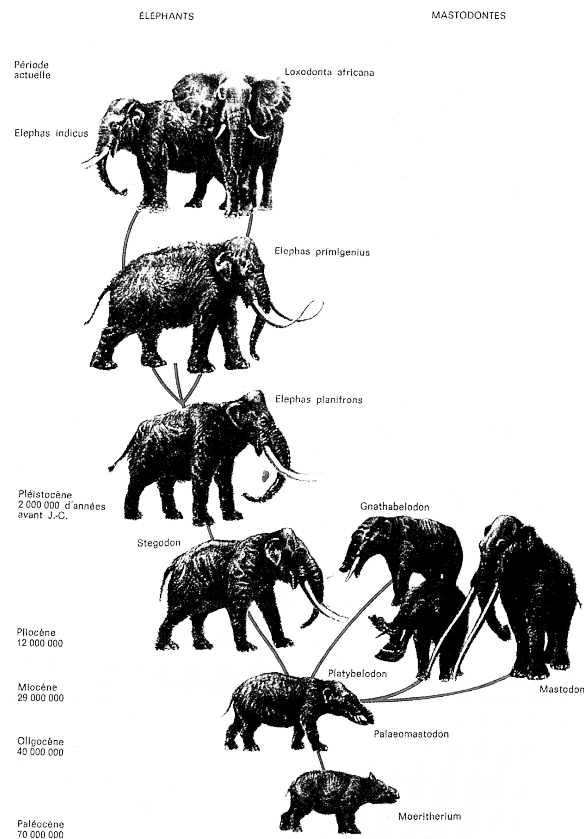


FIGURE 19 – Les différents « éléphants » au cours des temps.

7.6 La biogéographie

La répartition géographique des grands groupes d'espèces correspond à l'évolution de ces espèces.

Dans l'exemple ci-dessous, on peut voir que les phasmes¹⁷ se sont diversifiés après l'extinction des dinosaures. Les groupes de phasmes à Madagascar et en Océanie font partie d'une même famille phylogénétique (issu d'une même espèce).

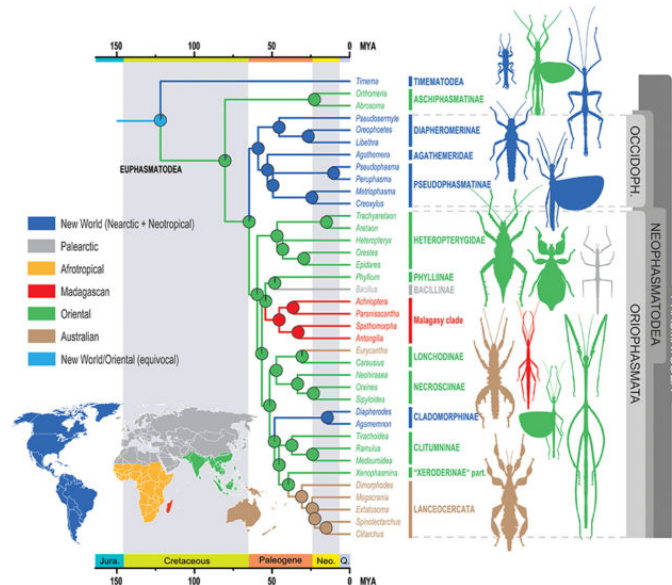


FIGURE 20 – La biogéographie des phasmes.

7.7 L'embryologie

Le développement de l'embryon d'une espèce suit approximativement l'évolution de cette espèce (« L'embryogenèse récapitule le phylogénèse » Ernest Haeckel 1866). Ce développement embryonnaire ne suit pas totalement l'évolution, car des modifications embryonnaires peuvent être des modifications génétiques.

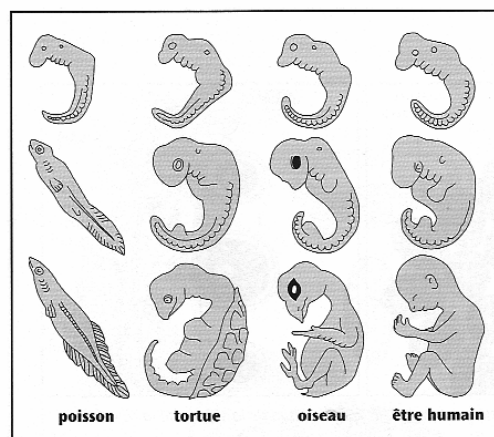


FIGURE 21 – L'évolution embryologique récapitule l'évolution phylogénétique.

17. Les phasmes sont des insectes prenant la forme de brindilles ou de feuilles pour se camoufler (mimétisme).

7.8 La classification phylogénétique

La classification phylogénétique (basée sur l'évolution) forme un tout cohérent. Même si certaines parties restent encore à découvrir, la solidité conceptuelle, et la convergence suivant les méthodes utilisées, montrent que l'évolution des espèces est un fait.

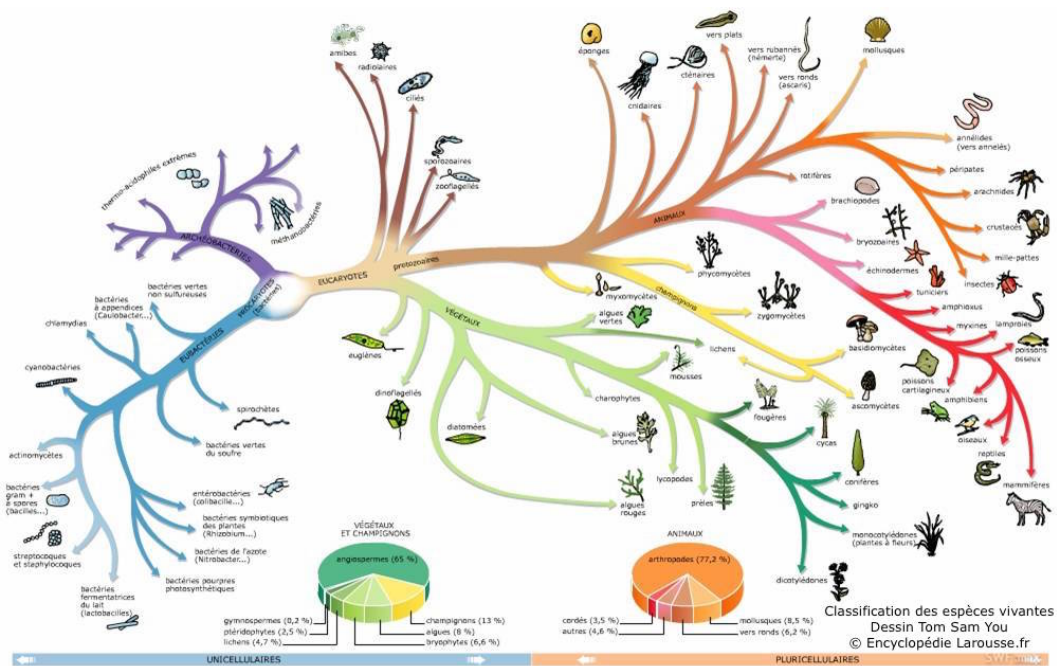


FIGURE 22 – La classification phylogénétique.

Table des matières

1	Évolution de la vie sur Terre	1
1.1	Bactéries : l'apparition de la vie	1
1.2	Eucaryotes : les origines des animaux et des plantes	1
1.3	L'ère des poissons	1
1.4	L'ère des amphibiens	1
1.5	L'ère des reptiles	3
1.6	L'ère des mammifères	3
2	Des primates à l'homo sapiens	4
2.1	Les premiers primates	4
2.2	Les premiers hominins	5
2.3	La diversification du genre Homo	5
3	Fossilisations et techniques de datation	7
3.1	Fossilisation	7
3.2	Datation relative	7
3.3	Datation absolue par radio-isotopes	8
3.4	Datation par horloge moléculaire	8
4	La classification phylogénétique du vivant	10
5	Le développement de la vie	12
5.1	Premières molécules organiques	12
5.2	Apparition de la membrane cellulaire	13
5.3	Endosymbiose	14
5.4	La variabilité génétique et les mutations	15
5.5	La sélection naturelle ou l'adaptation au milieu	15
5.6	La notion d'espèce	15
5.7	La création d'une nouvelle espèce : la spéciation	15
5.7.1	Le cas du pouillot verdâtre	16
5.7.2	Le cas du phalène du bouleau	17
5.8	Coévolution et domestication	17
6	L'origine de la vie dans l'Histoire	18
6.1	Le créationnisme	18
6.2	Le catastrophisme	18
6.3	Le transformisme	18
6.4	L'évolutionnisme	19
6.5	La théorie synthétique	19
7	L'origine commune de tous les espèces vivantes	20
7.1	La génétique	20
7.2	La structure des protéines	20
7.3	La structure de la cellule	20
7.4	L'anatomie comparée	21
7.5	La paléontologie	21
7.6	La biogéographie	22
7.7	L'embryologie	22
7.8	La classification phylogénétique	23