

Concept général : L'évolution de la terre et du monde vivant.

Sous/concept 1 : L'histoire et l'évolution de la terre et des êtres vivants.

Situation problème :

La terre appartient au système solaire. Elle est la seule planète qui possède une couche constituée d'eau liquide (l'hydrosphère) et une couche riche en oxygène (l'atmosphère).

La présence de dioxygène rend la vie possible sur cette terre.

L'étude de la structure du globe terrestre montre qu'il est formé de couches concentriques superposées qui sont de l'intérieur vers l'extérieur :

- Le noyau, riche en fer et nickel ;
- Le manteau ;
- La croûte terrestre ;

Sur la lithosphère, ensemble formé de la croûte et d'une partie du manteau supérieur, est constituée de plaques mobiles plus ou moins vastes.

Les plaques se déplacent lentement les unes par rapport aux autres, soit en s'écartant, soit en s'affrontant. Cette mobilité est le résultat des mouvements de convection du manteau. Les zones de rencontre des plaques correspondent soit à des zones de subduction, soit à des zones de collision, soit à des zones de coulissage.

La paléontologie (étude des fossiles) et la stratigraphie (étude des couches de terrain) permettent de reconstituer l'histoire, le climat et la configuration ancienne d'un milieu donné.

1. Quelle est l'origine et l'évolution de la planète terre ?
2. Quelle est l'origine et l'évolution des êtres vivants ?
3. Quelles sont les grandes crises géologiques et leur influence sur l'évolution des êtres vivants ?
4. Existe-t-il des liens de parenté entre les êtres vivants ?

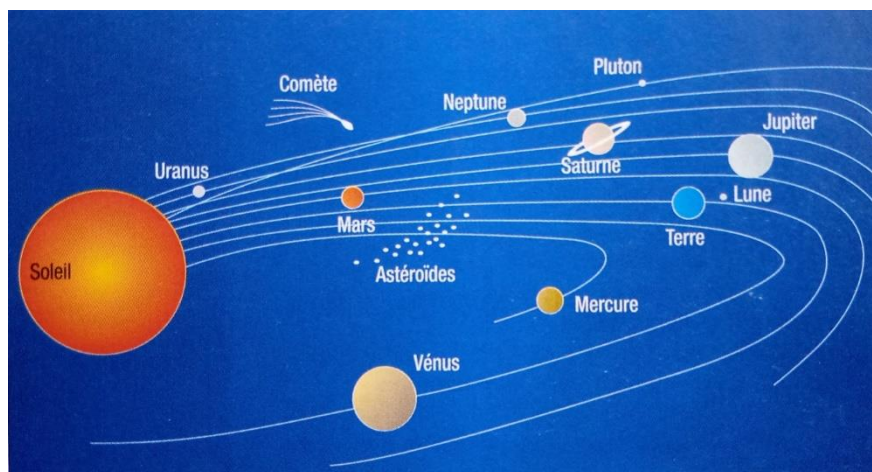
Activité 1 : l'origine de la planète terre.

Au début, il existait un milieu très chaud et dense constitué de particules élémentaires.

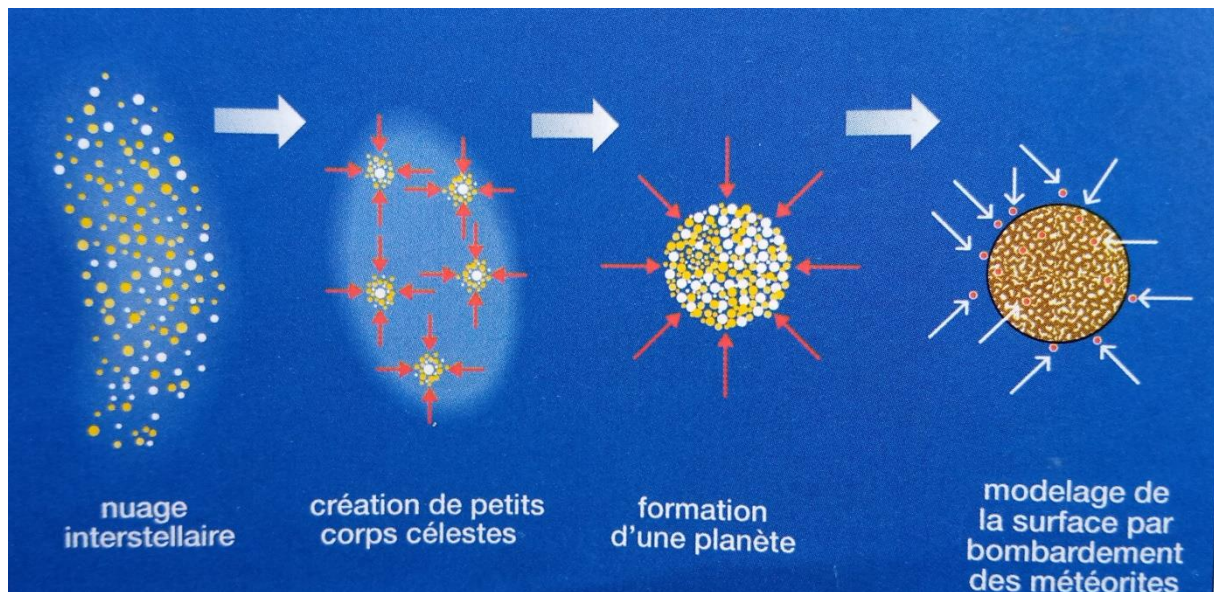
L'univers s'est formé il y a 15 milliards d'années à partir d'une explosion primordiale, « le Big Bang », qui a transformé une énergie colossale en matière. L'univers est constitué d'un grand nombre de galaxies, qui sont soit groupées en amas, soit distantes de quelques millions d'années-lumière (1 année-lumière = 10^{16} km) [9500 milliards de km]).

Les galaxies (à l'exemple de la voie lactée qui est notre galaxie) se sont formées à partir des matières stellaires.

Une galaxie regroupe des milliards d'étoiles et son diamètre moyen est d'environ 10^{18} km. Sur un des bras de la voie lactée se trouve notre étoile : le soleil.



Document 1 : la terre dans l'univers.

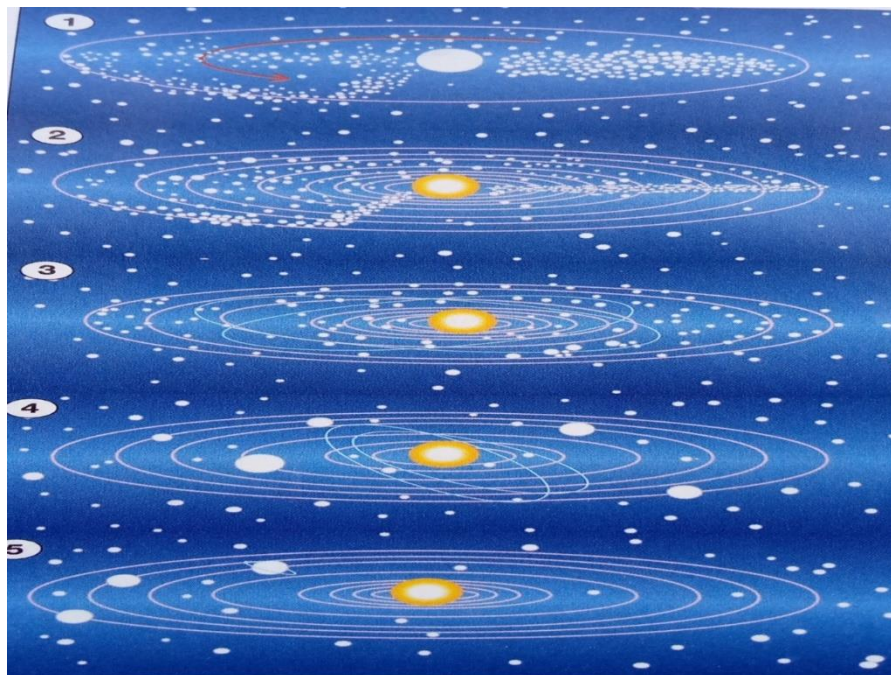


Document 2 : formation des planètes.

Le système solaire s'est formé à partir d'éléments chimiques et de poussières issus d'une grosse étoile ayant explosée, appelée *supernovae*.

Un million d'année après l'explosion de la *supernovae*, le soleil est déjà formé au centre de la nébuleuse, où l'abondance des atomes de dihydrogène et de la température permettent des réactions thermonucléaires.

A la périphérie de la nébuleuse, la terre et les autres planètes se forment. La terre, troisième planète en orbite autour du soleil, s'est formée il y a 4,6 milliards d'années. La terre primitive était une sphère de magma, basaltiques sans continents ni océans. Elle se refroidit très lentement en raison d'une forte énergie interne (volcanisme intense) et d'un important bombardement météorique.



Document 3 : mise en place du système solaire.

1. Système solaire à l'état de nébuleuse poussiéreuse.

2. et 3. Accrétion planétaire.
- 4- Bombardement météoritique de fin d'accrétion.
- 5- Etat actuel du système solaire.

Consigne : à partir des documents et des textes ci-dessus :

1. Détermine l'âge de l'univers.
2. Situe la terre dans l'univers.
3. Donne la constitution de la terre primitive.
4. Détermine l'âge de la terre.
5. Cite les éléments qui interviennent dans la formation de la terre.
6. Décrit les différentes étapes de la formation de l'univers et de la terre.

Activité 2 : l'évolution de la planète terre

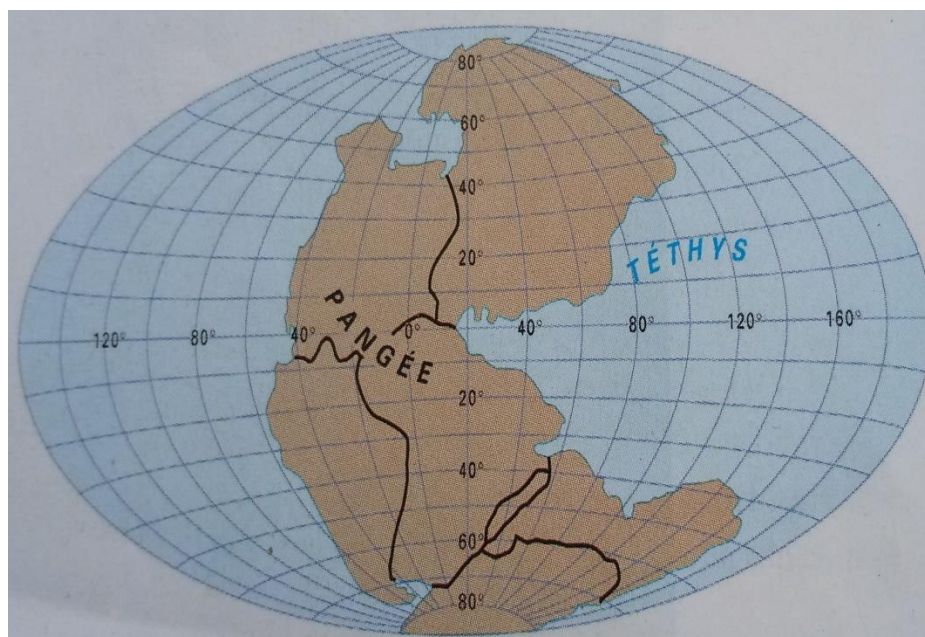
La croûte basaltique de la terre primitive s'épaissit par des plutons granitiques d'origine plus profonde, formant les continents.

Le manteau terrestre se modifie également. Cependant, il reste animé d'un mouvement lent de convection à l'état solide. Cette convection permet d'évacuer l'énergie thermique encore contenue dans la terre.

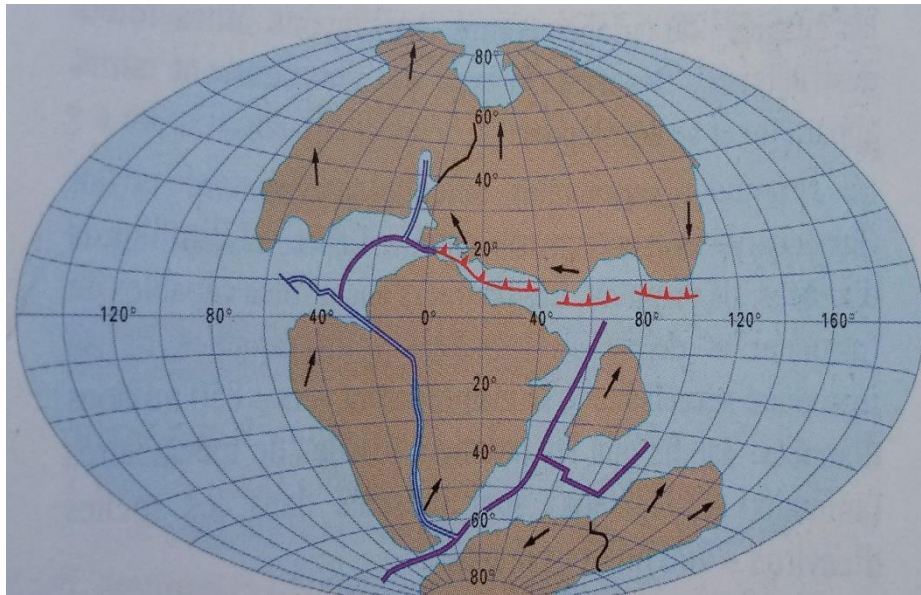
Les plaques lithosphériques, épaisses, rigides, stables et presque indéformables, sont les manifestations visibles de cette convection thermique.

Consigne :

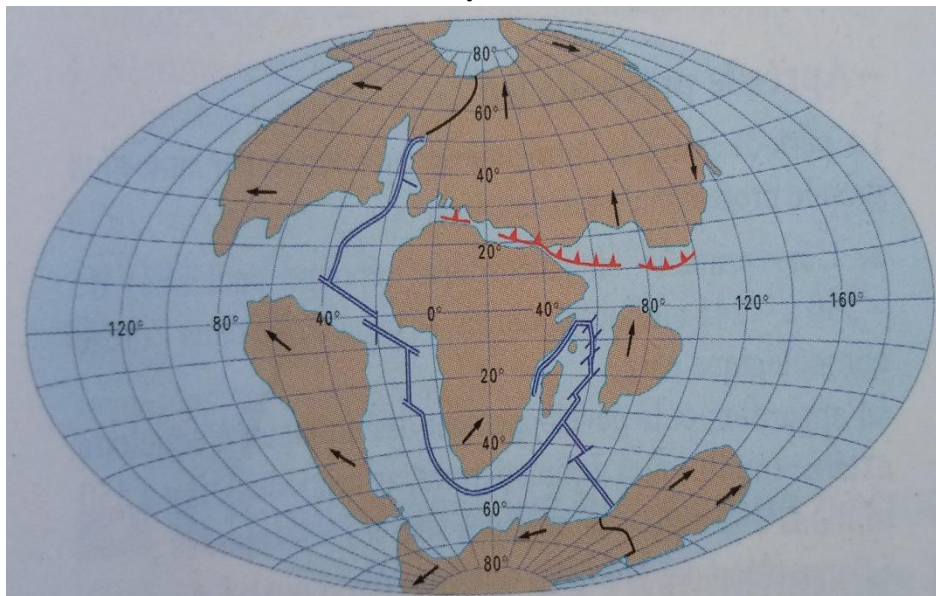
1. Explique ce qui caractérise l'évolution morphologique de la planète terre pendant la période allant -200 à -60 millions d'années.
2. Explique ce qui caractérise l'évolution chimique de la planète terre.
3. Démontre à l'aide d'arguments tirés des documents, que l'ouverture de l'océan atlantique n'a pas eu lieu partout en même temps.
4. Relève les arguments pouvant expliquer la formation des premiers océans.
5. Décrit les étapes de la formation de l'atmosphère.
6. Explique ce qui est à l'origine du noyau de la terre.



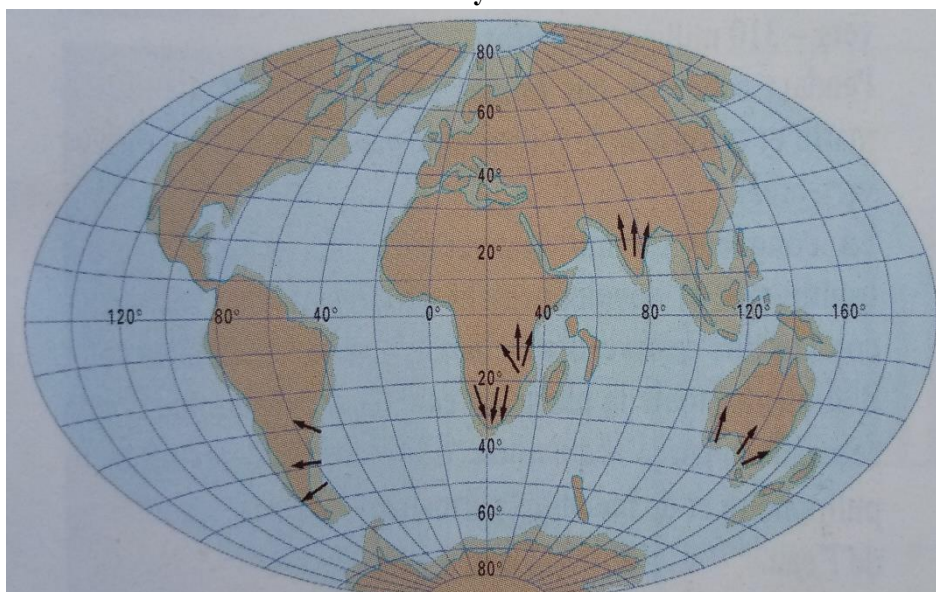
Document 4 : la terre il y a 200 millions d'années.



Document 5 : la terre il y a 130 millions d'années.



Document 6 : la terre il y a 60 millions d'années.

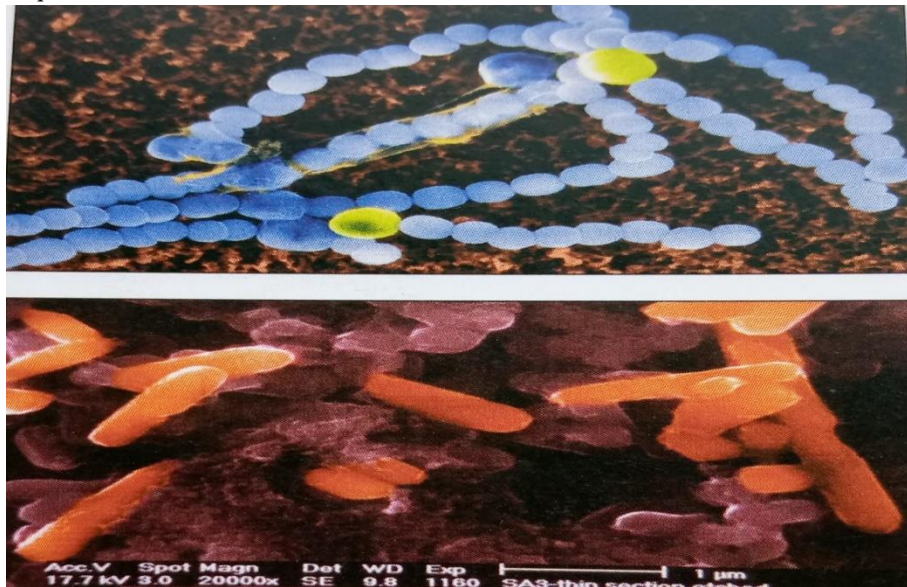


Document 7 : la terre actuelle.

Activité 3 : l'origine de la vie

Les conditions sur terre il y a 3,8 milliards d'années sont différentes de celles que nous connaissons aujourd'hui :

- L'eau de mer a une température de 80°C ;
- Il n'y a pas de dioxygène ;
- Les gaz sont émis par les éruptions volcaniques (H₂O, CO₂, CH₄, etc.) ;
- Le rayonnement ultraviolet est intense. C'est dans ces conditions que se forment dans l'eau de mer les premières molécules organiques à partir des molécules minérales. Par un processus mal connu, les premiers êtres vivants, les bactéries, apparaissent à partir des premières molécules organiques.



Document 8 : les premiers êtres vivants.

Cette proposition scientifique est appuyée par les résultats expérimentaux des chercheurs tels que l'Américain Stanley Miller qui, dans un ballon réunissant toutes les conditions de la terre primitive énumérées plus haut, a obtenu des molécules organiques diverses : acides aminés, nucléotides, sucres et acides gras.

D'autre part, on sait qu'au fond des océans actuels, dans les zones des rifts océaniques, vivent des bactéries anaérobies à une température supérieure à 80°C. Enfin, les plus anciens fossiles connus sont âgés de 3,5 milliards d'années : ce sont les bactéries. Plus tard apparaîtront des algues microscopiques, cellules dépourvues d'un véritable noyau.

Consigne :

1. Relève les étapes nécessaires à la formation de la vie.
2. Quels sont les premiers êtres vivants apparus sur terre ?

Relève dans le texte un argument qui permet de confirmer la réponse précédente.

Activité 4 : l'évolution de la vie sur la planète terre.

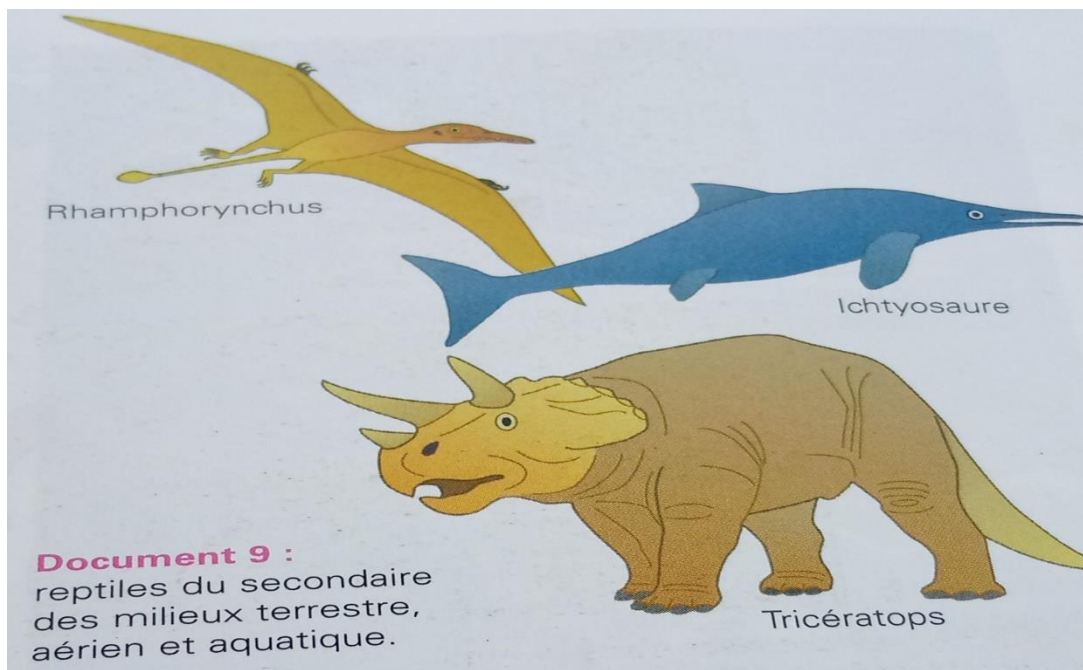
- ✓ **Au précambrien** : parmi les bactéries et les algues microscopiques apparues très tôt dans les eaux terrestres, on distingue des algues bleues. Elles sont capables de faire la photosynthèse, pour la synthèse de leurs propres matières organiques à partir des matières minérales qu'elles puisent dans l'environnement. Par ce phénomène, elles dégagent du dioxygène. Peu à peu, ce gaz va enrichir l'atmosphère terrestre : il contribue à la formation de la couche d'ozone, et permet de protéger la surface du globe terrestre contre les rayons ultraviolets destructeurs. D'autres formes de vie pourront alors apparaître et se développer.

Les premiers organismes unicellulaires à vrai noyau (les eucaryotes) sont apparus entre -1,8 et -1,2 Ga. Il respire et les premiers eucaryotes qui sont capables de reproduire sexuellement se manifesteront vers -850 Ma. Tandis que les premiers de métazoaires (animaux et végétaux) sont présents dans les roches d'environ -700 Ma.

✓ **Après le précambrien :**

- **Ere primaire ou paléozoïque (-550 à -245 Ma) :** se caractérise dans l'ordre chronologique par :
 - Apparition et développement des animaux à squelette externe ; il y a 550 Ma.
 - L'apparition des premiers vertébrés (poissons) : vers -500 Ma, les premiers amphibiens ; vers -400 Ma, les premiers reptiles ; vers -310 Ma, les formes vivantes sortent du milieu marin et colonisent le milieu terrestre (plantes et quelques vertébrés). Cette conquête traduit chez les plantes par le développement progressif des vaisseaux conducteurs de sève. Chez les animaux, elle se traduit par l'acquisition de l'appareil respiratoire et des membranes permettant le déplacement hors de l'eau.
- **Ere secondaire ou mésozoïque (-245 Ma à -65 Ma) :** se caractérise par la présence des reptiles dans tous les milieux (ex : dinosaures) et des ammonites dans les mers. A cette période apparaissent les mammifères (-210 Ma), les oiseaux (-150 Ma), et les angiospermes (-120 Ma).

Dans l'histoire de la terre, une coupure est un repère marqué par une crise biologique. Une crise biologique se caractérise par l'apparition ou la disparition d'espèces animales ou végétales. L'ère secondaire s'achève avec la disparition brutale des ammonites, des grands reptiles (dinosaures) et d'autres groupes d'espèces soit près de 60% d'espèces terrestres et marines.
- **Ere tertiaire (-65 Ma à -1,8 Ma) :** caractérisée par le développement remarqué de mammifères dans tous les milieux. Les premiers primates apparaissent il y a 60 Ma.
- **Ere quaternaire (-1,8 Ma à nos jours) :** caractérisée par la présence de l'homme.



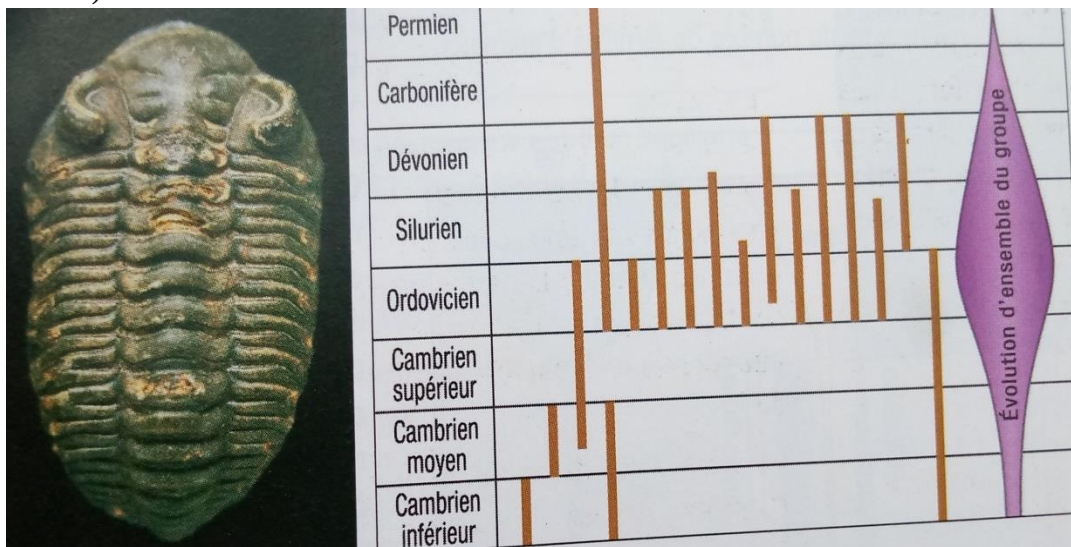
Document 9 : reptiles du secondaire des milieux terrestres, aérien et aquatique.

Consigne :

1. Relève un argument permettant d'affirmer que tous les êtres vivants ont une origine commune.
2. Nomme la période qui marque le passage des cellules procaryotes aux cellules eucaryotes.
3. Quels sont les êtres vivants qui ont permis l'augmentation de l'atmosphère en dioxygène.
4. Nomme le phénomène par lequel cette augmentation a été possible.
5. A quel moment apparaît l'homme sur terre ?
6. Sur un axe de temps allant de -3,5 milliards d'années à nos jours, indique les périodes d'apparition des bactéries, des vertébrés, des plantes, des oiseaux et des primates.

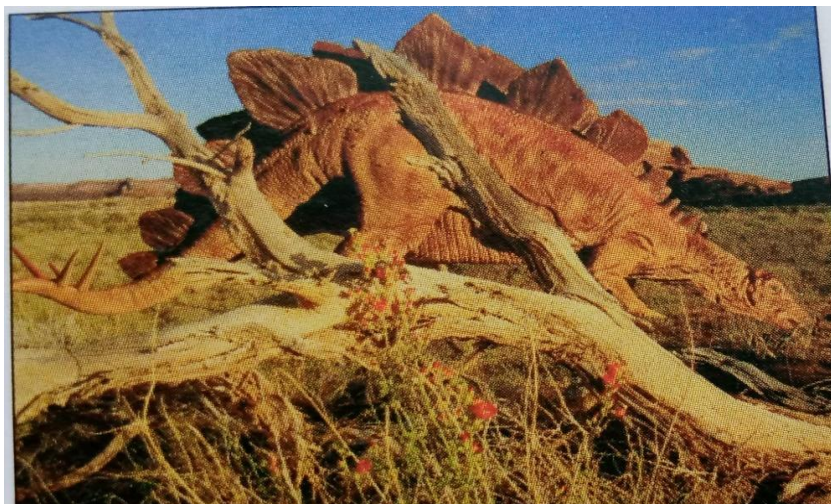
Activité 5 : les différentes périodes de crise géologique et leur influence sur l'évolution des êtres vivants.

Depuis longtemps, on a constaté qu'à certains moments de l'histoire de la terre, les faunes et les flores sont constamment renouvelées. Des groupes disparaissent sont remplacés par d'autres plus nombreux. Les trilobites sont des animaux marins ressemblant aux crustacés, connus uniquement à l'état fossile. Certains nageaient, d'autres rampaient sur le fond et s'enfouissaient dans les sédiments. Les dinosaures quant à eux constituent un ensemble de plusieurs fossiles avec les ptérosaures (reptiles volants).

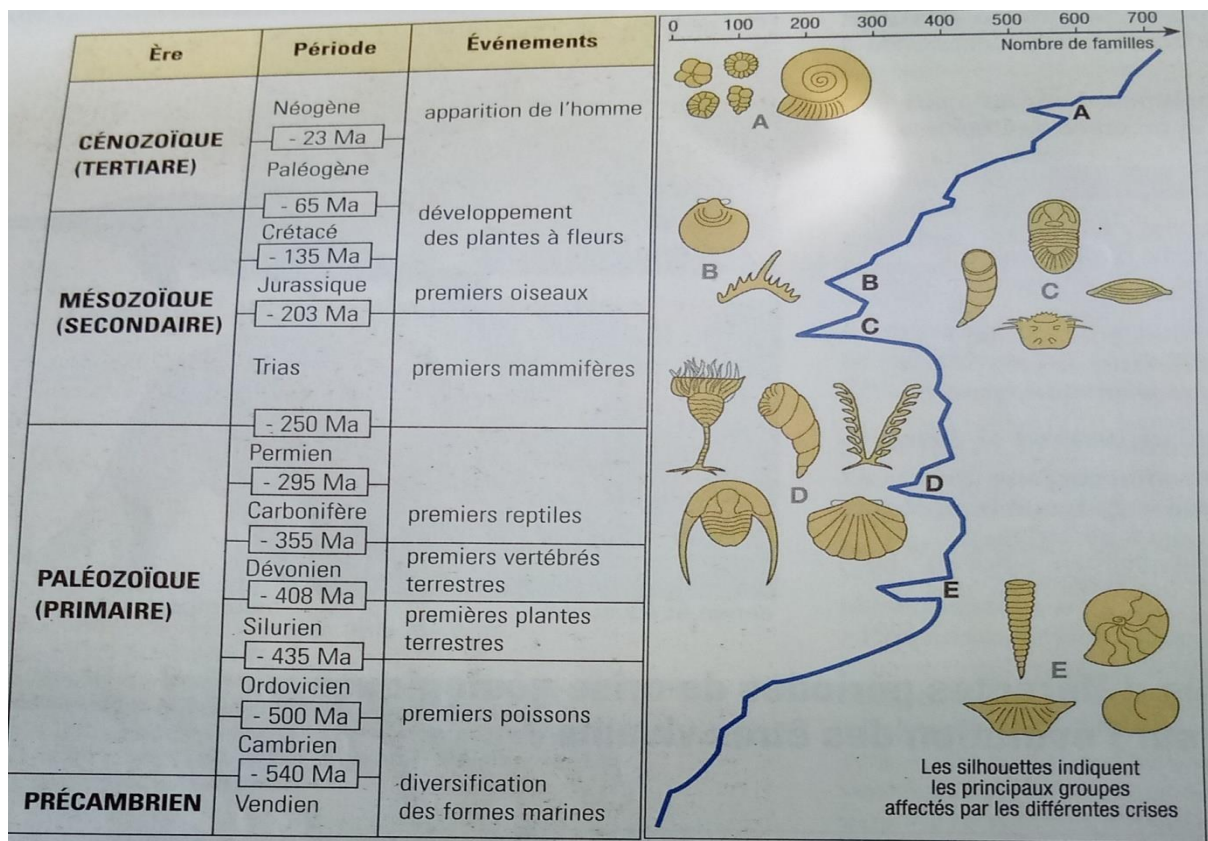


Document 10 : expansion et disparition des trilobites

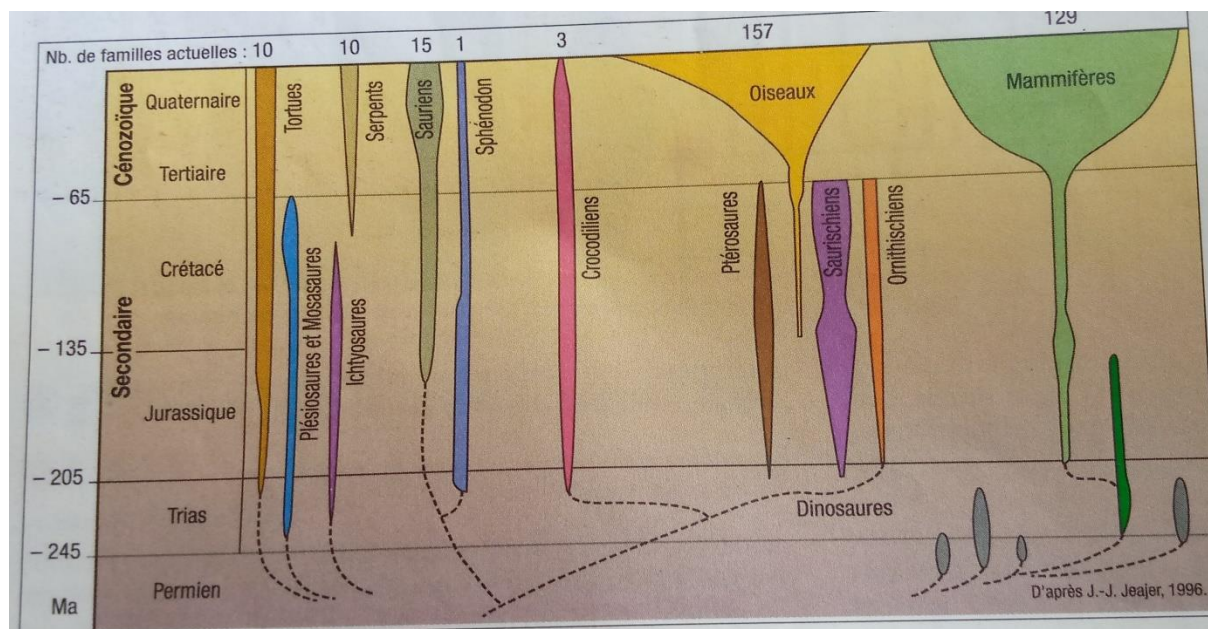
Ils comptent les plus grands carnivores et les plus grands herbivores connus. Apparus au trias, les dinosaures atteignent leur expansion maximale du jurassique au crétacé, mais disparaissent en totalité à la fin du crétacé.



Document 11 : un dinosaure.



Document 12 : division des temps géologiques et variations du nombre de familles d'animaux.



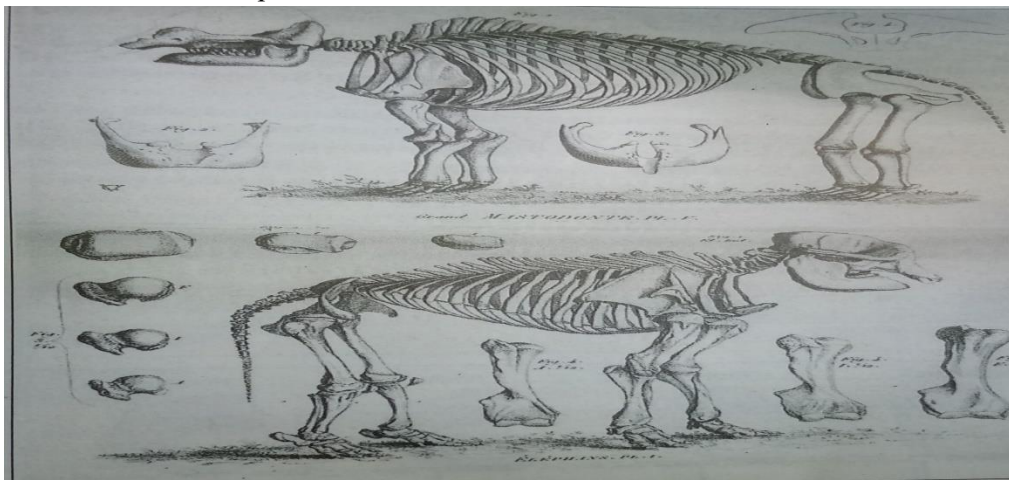
Document 13 : évolution des familles de reptiles du primaire et du secondaire.

Consigne : analyse les documents et les textes y afférents :

1. Relève les ressemblances et les différences entre les exemples présentés par les documents 10 et 11.
2. Quelle est la durée de vie moyenne des trilobites ?
3. Explique pourquoi ces êtres vivants ont été appelés trilobites.
4. A partir de la courbe du document 12, explique l'évolution globale du nombre de familles d'animaux entre le précambrien et le tertiaire.
5. Le document 13 montre que certaines familles d'êtres vivants sont plus touchées que d'autres (la limite crétacé-tertiaire).
Quelles sont les familles les plus touchées ? Justifie ta réponse.

Activité 6 : relations de parenté entre les êtres vivants.

- A. Des faits marquant tels que les données paléontologiques, la comparaison des caractères homologues, la comparaison d'embryons (données ontogénétiques) permettent de confirmer l'existence d'un lien de parenté entre les êtres vivants.



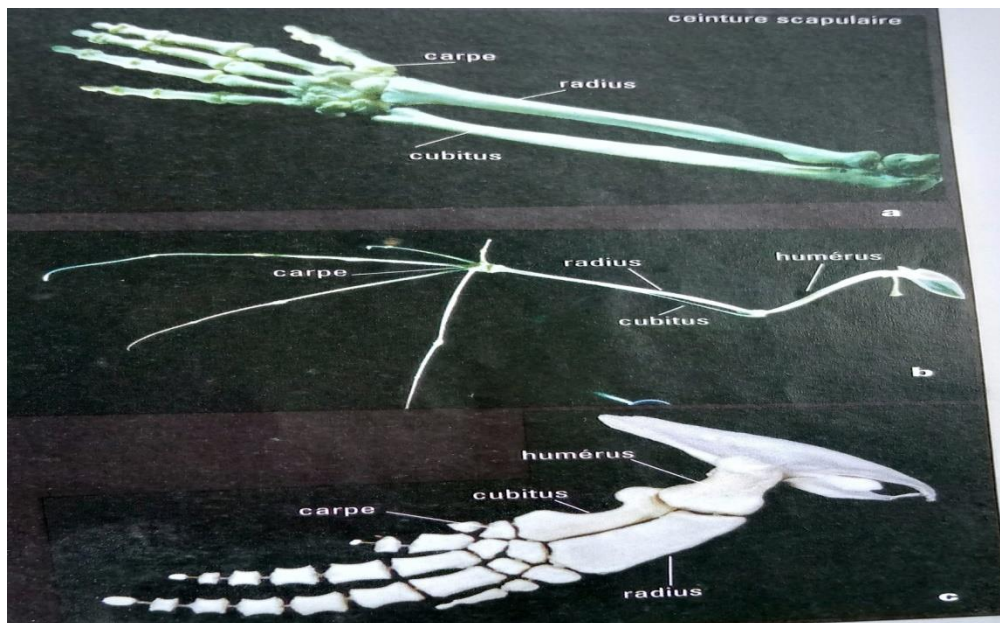
Document 14 : comparaison anatomique entre squelette fossile de mastodonte et un squelette actuel d'éléphant.

Consigne :

1. Relève quelques points de ressemblance anatomique entre l'éléphant et le mastodonte.
2. Relève également quelques points de différence.

Peut-on classer l'éléphant et le mastodonte dans la même espèce ? Justifie ta réponse.

- B. Le document 15 présente l'anatomie de trois membres antérieurs d'homme, de chauve-souris et de dauphin. Ces membres présentent des ressemblances mais aussi des différences. Le squelette du membre antérieur du dauphin, de la chauve-souris et de l'homme ne sont pas identiques, ne fonctionnent pas de la même manière, mais il est pourtant possible de détecter un plan d'organisation commun des différentes pièces qui les constituent. Malgré leur forme et leur taille très différentes, le radius du dauphin et celui de la chauve-souris sont homologues : ils sont tous deux connectés à l'humérus, lui-même connecté à la ceinture scapulaire : ils sont également connectés au cubitus, puis à des pièces carpiennes. Pour les mêmes raisons, le radius de l'homme est également homologue à celui du dauphin et de la chauve-souris.

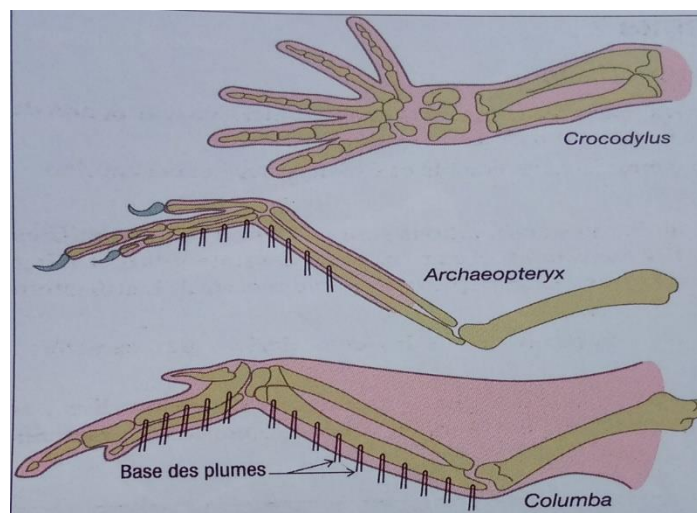


Document 15 : comparaison anatomique des trois membres antérieurs d'homme, de chauve-souris et de dauphin.

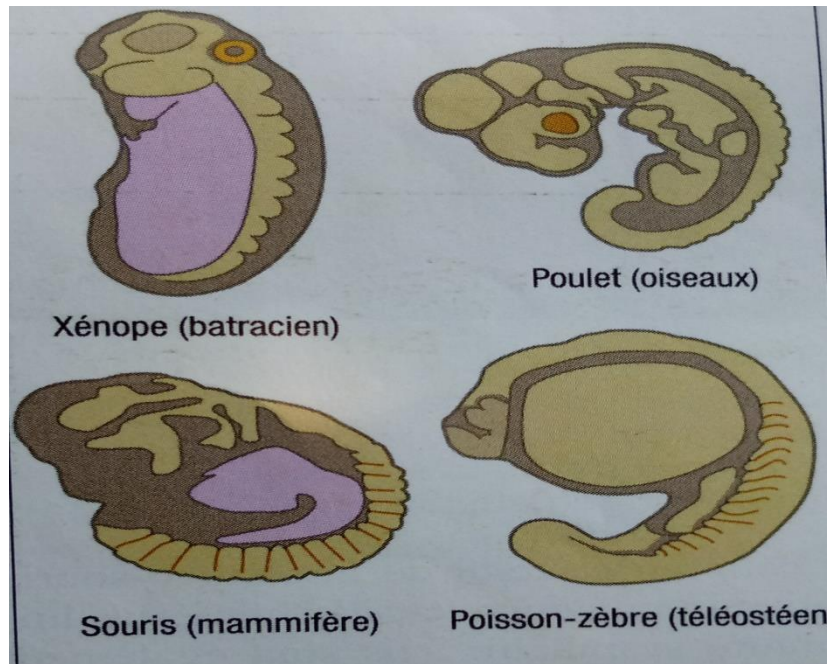
- a. Squelette de membre antérieur d'homme.
- b. Squelette antérieur de chauve-souris.
- c. Squelette de membre antérieur de dauphin.

Consigne :

1. Relève les structures homologues du membre antérieur d'homme, de chauve-souris et de dauphin (trace un tableau).
2. Relève les ressemblances entre les trois membres.
3. Ces squelettes présentent-ils la même organisation ?
- C. Les schémas ci-dessous présentent d'importantes variations morphologiques.



Document 16 : comparaison anatomique entre le membre antérieur de *Crocodylus* (crocodile), *Archaeopteryx* (oiseau fossile) et *Columba* (pigeon).



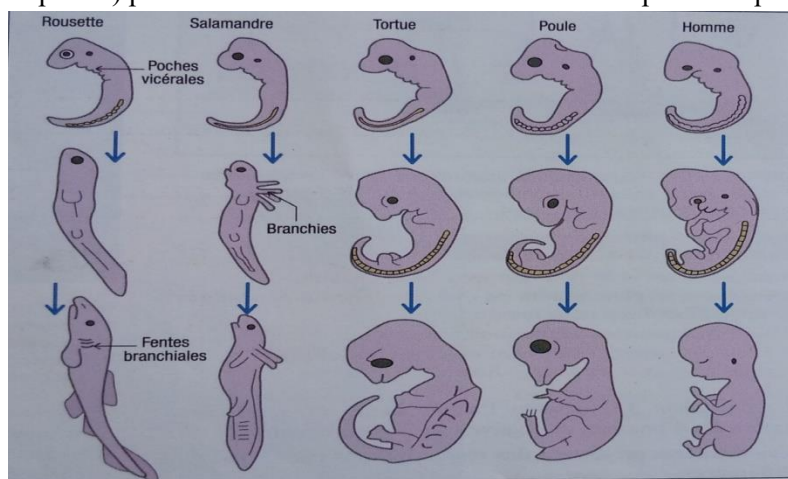
Document 17 : embryon de quatre vertébrés.

Consigne :

1. Relève les différences entre les trois schémas.
2. Relève les ressemblances.
3. Compare les embryons de poulet et de souris à ceux du document 17.

Activité 7 : l'évolution sur le plan embryonnaire.

Le document 17 présente quatre embryons de vertébrés au stade gastrula, tandis que le document 18 présente trois stades de l'évolution d'embryons de cinq vertébrés. En plus de cette organisation, certains embryons (souris et poulet) possèdent l'amnios creusé d'une cavité remplie du liquide amniotique.



Document 18 : évolution de cinq embryons de vertébrés.

Consigne :

1. Explique le rôle du liquide amniotique.
2. Donne un nom aux animaux pourvus d'un amnios.
3. Recherche l'ordre dans lequel se mettent en place les systèmes (nerveux, digestif, circulatoire...) chez les vertébrés présentés dans le document 18.
4. Que peut-on en déduire ?

Activité 8 : les étapes de la construction de l'arbre phylogénétique.

La construction d'un arbre phylogénétique a pour but de constituer les relations de parentés entre les êtres vivants et non de reconstituer la généalogie. On cherche « qui est plus proche de qui » et non « qui descend de qui ».

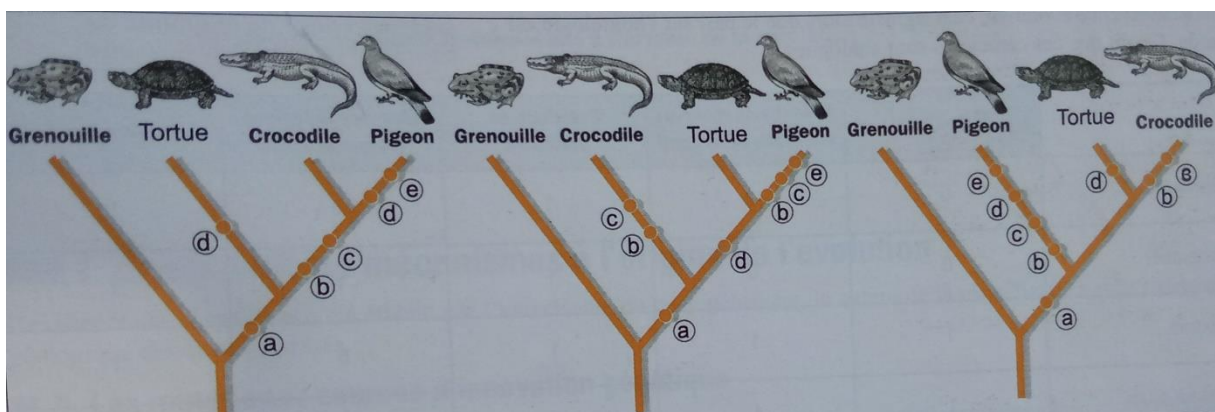
Le principe de sa construction est fondé sur l'étude d'un échantillon d'êtres vivants actuels et fossiles. Sur cet échantillon :

- On détermine des caractères homologues comparables.
- On polarise des états du caractère (état ancestral ou état dérivé). Ces différentes observations sont codées à l'aide de chiffres et reportés dans un tableau. Par convention, l'état ancestral est noté « 0 » et l'état dérivé « 1 ». Attention le zéro ne signifie pas l'absence de caractères mais seulement l'état ancestral.
- On regroupe les êtres vivants qui partagent le même état dérivé d'un caractère.

L'hypothèse de l'homologie est testée lors de la construction de l'arbre. L'arbre le plus parcimonieux, c'est-à-dire qui demande le moins d'innovation génétique est l'arbre retenu. A ce moment-là, on peut alors observer que certains caractères ne sont pas homologues mais *analogues*.

	Grenouille	Tortue	Crocodile	Pigeon
Amnios (a)	0	1	1	1
Gésier (b)	0	0	1	1
Mandibule (c)	0	0	1	1
Bec-corné (d)	0	1	0	1
Ailes (e)	0	0	0	1
Colonne vertébrale (f)	0	0	0	0

Document 19 : la matrice des caractères de la collection grenouille, tortue, crocodile, pigeon.



Document 20 : les trois arbres possibles avec la collection grenouille, tortue, crocodile, pigeon.

Consigne :

1. Indique à quoi correspond l'état ancestral et dérivé de l'amnios.
2. La tortue a-t-elle le caractère mandibule dans un état dérivé ou ancestral ?
3. Détermine le nombre d'innovations génétiques nécessaires à la construction de l'arbre 1, 2, 3.
4. Donne l'arbre le plus parcimonieux.

Activité 9 : les renseignements contenus dans un arbre phylogénétique.

	Mandibule (1)	Absence de réserves vitellines dans l'œuf (2)	Présence de vertèbres (3)	Membre antérieur en forme d'aile (4)	Amnios (5)
Grenouille	0	0	1	0	0
Perroquet	0	0	1	1	1
Homme	1	1	1	0	1
Chauve-souris	1	1	1	1	1

Document 21 : la matrice des caractères de la collection grenouille, perroquet, homme, chauve-souris.

Consigne :

1. Construis les arbres phylogénétiques possibles.
2. Détermine le nombre d'innovations génétiques nécessaire à la construction des différents arbres.
3. Détermine l'arbre le plus parcimonieux et déduis les caractères homologues et analogues.
4. Indique les caractères du dernier ancêtre exclusif de l'homme, du perroquet et de la chauve-souris.

Synthèse Générale

La terre actuelle, avec sa structure interne et ses enveloppes externes, résulte d'une différenciation initiale suivie d'une longue évolution.

Au cours de leur histoire commune, les enveloppes externes de la planète et la biosphère constamment ont interagi en étroite liaison.

I. Origine et évolution de la Terre :

1. Formation de l'univers, des étoiles, et de la Terre :

a. Univers, Bigbang et poussières d'étoile :

Tout l'univers, masse, espace et énergie était concentré en un seul point il y a environ 15 milliards d'années (15Ga). Une gigantesque explosion, le Bigbang a tout dispersé.

Les noyaux synthétisés lors de cette explosion (H, He, Li) ; associés aux électrons en atomes, se sont regroupés en amas, les Galaxies. A l'intérieur de ces amas, les gaz se sont concentrés en masses distinctes, les étoiles, au sein desquelles les réactions de fusion nucléaires transforment l'hydrogène en hélium ; puis l'hélium en carbone et oxygène, qui deviennent à leur tour le silicium et magnésium.....

Une étoile en mourant renvoie dans l'espace ses gaz périphériques enrichis en éléments lourds par rapport à son état initial. Ces gaz expulsés de l'étoile mourante peuvent à leur tour se mélanger à un autre nuage de gaz, qui pourra redevenir étoile et entamer un nouveau cycle.

b. La naissance du système solaire :

Il y a 4,5milliards d'années, le soleil, une étoile est née suite à un nuage de gaz pollué par des éléments lourds issus d'une étoile venant de mourir. De 150 à 200 millions de km du centre du soleil, la température des gaz était suffisamment basse pour permettre à certains éléments lourds (surtout O, Si ; Mg, et Fe) de précipiter en se combinant pour donner des poussières de condensats de silicates et de fer.

Le carbone, l'azote, l'oxygène et l'hydrogène se sont associés pour donner H₂O, CO₂, et N₂ et des molécules organiques plus ou moins absorbées à la surface des poussières silicatées. Ces poussières agglomérées (réunies) en chondrites (météorites constituées de péridotites ferreuses ; constitue les 85% des météorites) dont la chute les unes sur les autres a formé la Terre. Cette chute a libéré suffisamment d'énergie pour fondre l'ensemble qui alors s'est séparé par gravité : fer au centre, composés volatils en périphérie et silicates entre les deux.

La Terre comme les autres planètes, s'est donc formé par accréation de gaz et de poussières et d'objets célestes variés (météorites, astroïdes, planétoïdes) .Au cours de l'accréation, les impacts d'objets venant percuté le globe en formation ont dégagé une chaleur considérable. Lorsque la terre a acquis sa taille actuelle, elle était formée de matériaux fondus : la Terre primitive était une sphère de magma.

Une différenciation de la terre magmatique par gravité des éléments chimiques qui le compose est à l'origine de la superposition actuelle des couches (enveloppes) de moins en moins denses du centre vers la surface : un noyau (constitué d'éléments métalliques : Fe et Ni), un manteau surmonté d'une croûte (formé d'éléments moins denses) et enfin une hydrosphère et une atmosphère constituées de fluides volatils issus du manteau.

Une preuve indirecte de cette différenciation nous est fournie par les météorites différenciées (achondrites et les météorites de fer ou sidérites) provenant de la destruction par de gigantesques impacts des planétoïdes différenciées.

2. Evolution de la Terre

a. L'atmosphère primitive : Terre avant la vie

Trois méthodes différentes mais convergentes permettent de comprendre la composition de

L'atmosphère primitive résultant de la différenciation de la terre :

- l'étude du dégazage des chondrites ;
- l'étude des gaz volcaniques issus du manteau ;
- et l'inventaire des corps volatils à la surface de la terre actuelle sous différentes formes H_2O (liquide), CO_2 (en majorité calcaire) et N_2 (gazeux).

Il y a 4,4 milliards d'années l'atmosphère, échappée du manteau était principalement : H_2O (environ 80 à 90%), CO_2 (10 à 20%), N_2 (1 à 2%) et des traces de composés réduits ; il n'y avait pas d' O_2 . Du NH_3 dès son émission aurait été détruit par les rayons UV solaires.

La distance du soleil a permis à l'atmosphère d'avoir une température assez basse pour que l'eau passe à l'état liquide.

La condensation de l'eau a produit dès cette époque un océan terrestre.

Le piégeage du CO_2 par l'océan sous forme de calcaire (par précipitation de carbonates) réduit sa teneur en diminuant l'effet de serre favorisant un abaissement rapide de la température atmosphérique.

Les phénomènes d'évaporation-condensation de l'eau, d'érosion et de sédimentations ont pu démarrer très tôt : les formations géologiques les plus anciennes connues datées de 3,8 milliards d'année contiennent déjà des roches sédimentaires.

b. L'apparition de la vie

La première étape conduisant à la vie a dû être la synthèse de molécules prébiotiques (acides aminés, bases azotées).

De nombreuses expériences ont montrés que la synthèse de ces molécules prébiotiques réalisable en mélange gazeux (CH_4 , NH_3 , H_2 ...) ne l'était pas en atmosphère primitive.

En revanche les synthèses de ce type sont démontrées par les nébuleuses, milieu riche en H_2 , CH_4 , NH_3 , et l'on retrouve ces molécules prébiotiques dans les météorites dont l'accumulation est à l'origine de la terre.

L'hypothèse d'un apport de molécules organique d'origine extraterrestre n'est donc pas improbable (exclu).

Qu'elles soient leur origine terrestre ou extraterrestre les molécules prébiotiques, en absence initiale de cellules pouvant les consommer abondaient la terre primitive ou elles dû s'accumuler dans les eaux constituant la soupe primitive dans laquelle est né la vie.

Quelques rares sédiments de cette même époque datée de 3,5 à 3,8 milliards d'année contiennent des fossiles d'organisme procaryotes, des constructions calcaires engendrées par ces organismes (les stromatolithes) et ou des traces indirectes d'une activité photosynthétique libérant de l'O₂.

II. Origine et évolution des êtres vivants :

1. Origine des êtres vivants :

a. Les premiers êtres vivants :

La vie est apparue sur la terre entre 4 et 3,5 milliards d'année.

Cependant l'édification des premières cellules répondant aux critères de la théorie cellulaire reste indéfinie.

Il est probable que les premières cellules étaient comparables aux cellules actuelles les plus simples des bactéries.

Ces êtres nécessairement anaérobies (absence de dioxygène) ont pu utiliser les substances organiques de la soupe primitive comme matière première et comme source d'énergie ; ils étaient alors hétérotrophes. Ils ont rapidement dû acquérir leur indépendance énergétique en devenant autotrophes grâce à la photosynthèse et la chimiosynthèse.

Une synthèse de molécules carbonées à partir du CO₂ est alors possible.

b. Évolution parallèle de la biosphère (êtres vivants) et de l'atmosphère :

Le dioxygène libéré par les bactéries photosynthétiques était immédiatement piégé par l'oxydation des sulfures et du fer ferreux, abondant dans le domaine océanique : l'atmosphère restait dépourvue en O₂. Le dioxygène est apparu à l'état libre dans l'océan et dans l'atmosphère après l'oxydation complète vers -2Ga de tout le Fe²⁺ et les sulfures de la mer.

L'accumulation du dioxygène dans l'atmosphère fut un phénomène très lent.

La révolution de l'oxygène entraîne la disparition de nombreuses formes bactériennes anaérobies strictes. Une deuxième révolution énergétique intervient, la respiration, permettant d'extraire l'énergie des molécules organiques. Ce progrès biochimique s'accompagne d'une innovation au niveau de la structure cellulaire : l'apparition des cellules eucaryotes vers -1,5Ga.

Ces cellules plus complexes inventent la reproduction sexuée source extraordinaire de la diversité génétique. La divergence fondamentale entre règne végétal, gigantesque usine photosynthétique, et règne animal s'établit. Le milieu aquatique se peuple de groupes de plus en plus nombreux et complexes. La concentration de l'atmosphère en dioxygène augmente lentement et vers -400 millions d'années (Ma) une couche d'ozone protectrice s'édifie dans la haute atmosphère. Ainsi la vie végétale, puis animale, ont pu quitter l'eau et coloniser la terre ferme.

III. Les grandes coupures géologiques :

Les espèces animale et végétale se sont succédé au cours des temps géologiques en montrant une organisation de plus en plus complexe. Ces successions d'espèces sont utilisées en chronologie relative pour dater les différentes strates sédimentaires.

Les crises biologiques à la base de l'extinction massive d'espèces et de groupes, ont permis de découper les temps géologiques en ères. D'autres limites subdivisent les ères en intervalle de temps plus courts.

1. Les crises et temps géologiques :

Les crises permettent de marquer les temps géologiques. Les divisions les plus importantes, ou ères, correspondent à l'apparition ou à la disparition d'un groupe entier d'organismes. Après le Protérozoïque ou précambrien (de -4600 à -540 MA), trois ères, Paléozoïque ou primaire, Mésozoïque ou secondaire, Cénozoïque ou tertiaire, découpent les temps géologiques. La limite précambrien et paléozoïque ; datée de -570 millions d'années (MA) correspond à l'apparition des premiers organismes fossilisés à tests ou à coquille minéralisées.

La fin de l'ère paléozoïque (limite entre primaire et secondaire) est marquée par une crise biologique majeure avec la disparition de plus de 90% des espèces dont les trilobites (arthropodes) et les fusulines (Foraminifères benthiques) et certains organismes constructeurs comme les Tabulés.

La fin du Mésozoïque (limite entre secondaire et tertiaire) sera marquée par la crise biologique crétacée-tertiaire entraînant la disparition des ammonites, ainsi que les Dinosaures et les autres reptiles.

L'ère Cénozoïque se poursuit actuellement, car l'ère quaternaire qui correspond seulement à la présence de l'homme ne peut pas sur le même plan que les autres. Ces crises biologiques liées à des événements géologiques majeurs, ont affecté l'ensemble de la planète et sont repérables dans le monde entier.

Les crises ne concernant que quelques familles ou genre, sont utilisées pour diviser les ères en étages. L'étage est défini par une lithologie (nature des roches) et une association de fossiles stratigraphiques. Les étages sont ensuite regroupés en systèmes. (Voir tableau) :

Eres	Périodes	Durées (en millions d'années (MA))	Fossiles caractéristiques
Quaternaire			Homme
Tertiaire	Pliocène	-13	Mammifères
	Miocène	-10	Plantes à fleurs
	Oligocène	-15	Nummulites
	Eocène	-30	Cératines
Secondaire	Crétacé	-65	1 ^{ers} Mammifères
	Jurassique	-45	Ammonites, Bélemnites, grands reptiles (Dinosaures)
	Trias	-50	Radiolaires ; globigérines.
Primaire	Permien	-55	Flore houillère
	Carbonifère	-70	Trilobites ; goniatites ; fusulines
	Dévonien	-45	Apparition des animaux à respiration pulmonaire
	Silurien	-30	
	Ordovicien	-60	
	Cambrien	-90	
Précambrien			Apparition de la vie

IV. La Phylogénèse et Ontogénèse :

L'ensemble des données morphologiques, anatomiques, embryologique associées aux informations fournies par la paléontologie, permettent d'établir la phylogénie des espèces et des groupes d'organismes : c'est-à-dire leur histoire évolutive.

1. Une ressemblance morphologique :

A l'état adulte, les vertébrés possèdent un plan d'organisation commune : c'est-à-dire que l'on retrouve, chez tous, des axes de polarités (axe antéropostérieur, axe dorso-ventral, axe droite –gauche).

A l'état embryonnaire, on note une ressemblance morphologique des embryons au début du développement des vertébrés. Cette ressemblance morphologique traduit un même processus de développement des organismes et constitue un argument en faveur de l'existence d'un ancêtre commun à tous les vertébrés.

2. Une ressemblance anatomique :

Le plan d'organisation se trouve dans la disposition des organes par rapport aux différents axes : la colonne vertébrale et le système nerveux dorsaux, l'appareil digestif est ventral et tous les trois présentent une polarité antéropostérieure. Les poumons, les reins, les gonades sont paires et présentent une disposition droite-gauche.

Les membres antérieurs des vertébrés tétrapodes sont organisés en segments : avant-bras, bras ; main. Ces structures sont homologues et remplissent la même fonction.

Cette similitude d'organisation suggère une origine commune du membre des vertébrés.

L'étude comparative des fossiles de la famille des équidés (mammifère) montre une succession de forme depuis le début de l'ère tertiaire jusqu'à nos jours. Cette succession d'espèces au cours de laquelle différents caractères évoluent progressivement, constituent la lignée évolutive. Cependant une lignée évolutive n'est linéaire pour l'ensemble de ses caractères, au sein d'un même groupe, plusieurs tendances évolutives existent.

La lignée évolutive se présente comme une ramification buissonnante où la succession de formes de plus en plus spécialisées est liée à l'apparition aléatoire de nouvelles niches écologiques.

3. Une ressemblance moléculaire :

Des protéines assurant des fonctions identiques (hémoglobine ou l'insuline) présentent d'une espèce à l'autre des similitudes de séquences d'acides aminés (même structure). Elles sont semblables dans leur structure et leur fonction, mais présentent des variations de séquences d'acides aminés. D'autres similitudes peuvent être détectées en comparant certaines séquences nucléotidiques d'ADN ou d'ARN. Ce sont des molécules homologues.

Les ressemblances entre séquences comparées, trop nombreuses pour résulter du seul hasard, attestent de la parenté biochimique des séquences comparées. Elles sont interprétées comme des homologues, hérités d'ancêtres communs.

Les divergences observées entre séquences homologues provenant d'espèces différentes permettent d'apprécier la distance évolutive qui les sépare.

Les gènes qui n'ont subi que peu de modification au cours de l'évolution comme ARNr ou ceux du cytochrome C (ADN mitochondrial : gène du métabolisme) permettent d'établir des comparaisons entre des organismes aussi éloignées que les bactéries et l'homme.

a. Etablissement de phylogénies :

L'établissement de phylogénies suppose que les caractères homologues soient reconnus et que l'on distingue parmi ceux-ci ceux qui ont subi une modification propre au groupe étudié.

La reconnaissance dans une lignée de l'état ancestral d'un caractère ou au contraire de son état dérivé est le fondement de la systématique (classification) phylogénétique.

En comptant deux à deux les molécules homologues il est possible de compter le nombre de différences qui existent entre elles pour établir un tableau appelé matrice de différence.

Si on considère que les organismes qui ont un ancêtre commun proche se ressemblent d'avantage que ceux qui ont un ancêtre commun dans un passé lointain, il est alors possible d'établir des arbres phylogénétiques.

Le choix entre plusieurs arbres possibles est basé sur le principe de la parcimonie maximum, qui conduit à sélectionner l'arbre le plus économe en mutations.

Les branches de l'arbre définissent les parentés entre les descendants et leurs ancêtres hypothétiques, la longueur de la branche étant proportionnelle à la distance évolutive séparant l'ancêtre de sa descendance.

b. Phylogénie des êtres vivants :

Le séquençage des ARNr des chloroplastes et des mitochondries à montrer des convergences entre ses organites et les bactéries, permettant ainsi d'envisager une origine bactérienne pour ces organites cellulaires. Ainsi, la théorie de l'évolution postule que les organismes les plus complexes ont évolué à partir des formes de vie les plus simples, et que ; par conséquent tous les systèmes vivants actuels ont une origine commune.

Conclusion :

La phylogénèse est l'étude des liens de parenté entre les organismes anciens ou actuels. Elle fait intervenir la comparaison d'organisme existant à l'état de fossile, ainsi que celle des embryons des différentes espèces.

L'ontogénèse, qui récapitule des différentes étapes du développement embryonnaire d'un être vivant, montre que les premiers stades de développement de plusieurs êtres se ressemblent. Donc ces derniers seraient issus des mêmes ancêtres.

L'ontogénèse récapitule donc la phylogénèse.