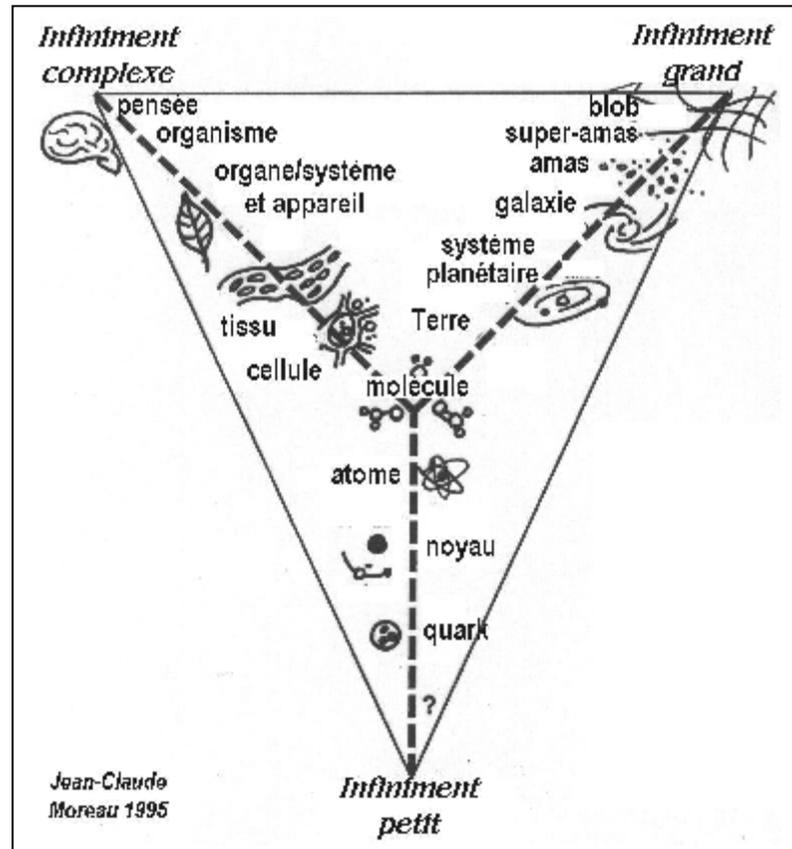


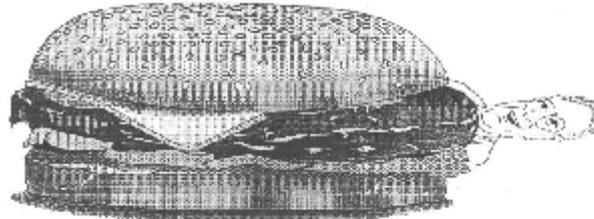
Term S

Enseignement
obligatoire

L'Homme se trouve entre
l'infiniment grand et
l'infiniment petit, entre la
constante de Planck 10^{-33}
cm et les confins de
l'univers 10^{28} cm



Confins de l'Univers visible...



Distance inter-quarks

D'après Jean-Claude Moreau, 1995.

Approche du temps en biologie et géologie et la mesure du temps dans l'Histoire de la Terre et de la Vie

DOSSIER 1 - Sommaire :

I/ L'appréhension de la dimension spatiale en biologie-géologie

40 puissances de 10 séparent le macrocosme du microcosme. Des outils nous permettent d'observer ces différents niveaux d'organisation de la matière et du vivant.

II/ L'appréhension de la dimension temporelle en biologie-géologie

Si d'une manière générale, les phénomènes géologiques sont extrêmement lents à notre échelle, les phénomènes biologiques nous apparaissent beaucoup plus rapides voire instantanés. Tout est une question de référentiel. Pour dater et mesurer la durée de phénomènes géologiques et paléontologiques ont fait appel aux datations relative et absolue. Ces méthodes de datation nous ont permis de créer une échelle géologique stratigraphique internationale.

Samuel Remérand 2002

Introduction

Les notions d'espace et de distance, de temps et de durée sont sous-jacentes à l'ensemble des parties du programme de Terminale S SVT et Spécialité SVT. La compréhension des phénomènes biologiques et géologiques traités dans ce programme repose nécessairement sur une perception cohérente des échelles spatiale et temporelle.

I/ L'appréhension de la dimension spatiale en biologie-géologie

I-1 Les ordres de grandeur dans l'Univers : 40 puissances de 10 sépare le macrocosme du microcosme (Doc. 1)

☉ L'Univers est en continuelle expansion, d'après les théories du moment. Cependant, sa dimension est finie : 15 milliards d'années lumière soit $15 \times 10^9 \times 300.000 \times 3.600 \times 24 \times 365 \text{ km} = 15 \times 10^9 \times 10^{12} = 15 \times 10^{21} \text{ km}$ soit $15 \times 10^{24} \text{ m}$ ou 10^{25} m (Doc. 1)

☉ L'étude et l'observation de structures géologique et biologique terrestres recouvrent des échelles emboîtées, variées, allant :

- *en géologie* (Doc. 2): du globe terrestre dans sa globalité (10^7 m) au réseau cristallin et à l'atome (10^{-9} m) en passant par la lithosphère (10^6 m), les chaînes de montagnes (10^3 m), les plis (de la dizaine de mètres au cm) et les minéraux (10^{-5} m),
- *en biologie* (Doc. 3): de l'organisme (10^1 à 10^6 m) à l'atome (10^{-9} m), en passant par les cellules eucaryotes et procaryotes (10^{-4} à 10^{-6} m), les organites (10^{-5} à 10^{-6} m) et les biomolécules (10^{-8} à 10^{-9} m).

La physique permet de décomposer les atomes en protons, neutrons, quarks... On atteint alors des tailles de l'ordre de 10^{-15} m .

Du macrocosme (10^{25} m) au microcosme (10^{-15} m) : 40 puissances de 10 !!!

I-2 Les méthodes d'observation et de mesure des éléments les plus grands aux plus petits

☉ Pour observer et mesurer l'espace et ses objets, on utilise des **télescopes** basés sur Terre, embarqués sur la navette spatiale ou encore fixés sur des sondes.

☉ En géologie, l'utilisation d'**images satellitales, de photographies aériennes et de lames minces observées au microscope polarisant** complètent les observations réalisées sur le terrain, **à l'œil nu**, au niveau du paysage, de l'affleurement, de l'échantillon puis du minéral.

En biologie, l'observation **à l'œil nu** est affinée par des observations aux **microscopes photonique et électronique** (Doc. 3).

II/ L'appréhension de la dimension temporelle en biologie-géologie

II-1 La dimension temporelle de l'Univers, de la Terre et du vivant

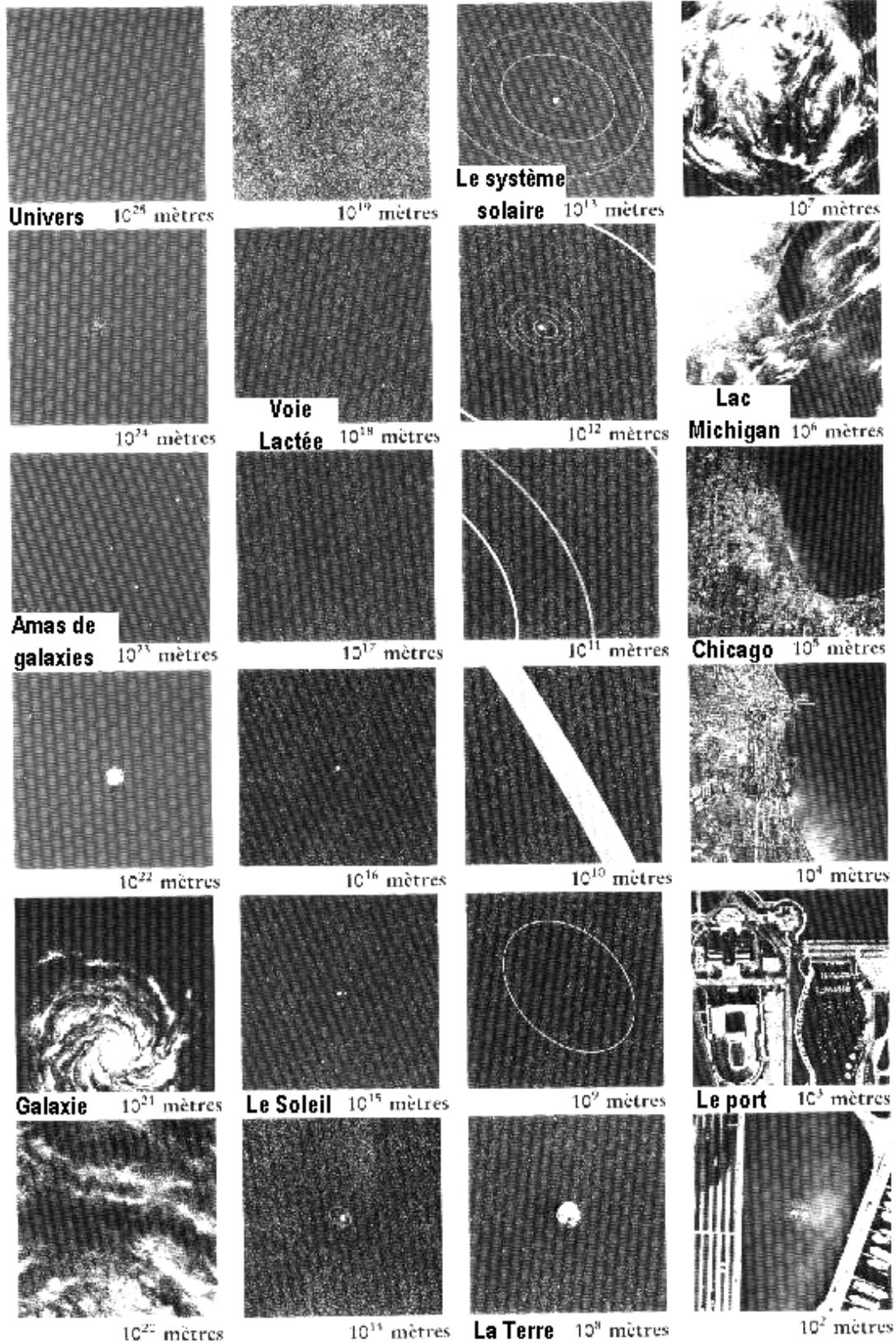
☉ L'Univers est âgé de **15 milliards d'années**, selon la théorie actuelle du Big-Bang.

La Terre est âgée de 4.6 milliards d'années et la durée des phénomènes géologiques est extrêmement variable (Doc. 4): **du milliard d'années** (10^9 années) pour le cycle des super-continentaux **à la seconde** pour les tremblements de terre ou les impacts météoritiques, en passant par des dizaines voir des centaines de millions d'années pour un cycle orogénique (formation – disparition d'une chaîne de montagne), quelques milliers d'années pour les cycles glaciaires, quelques mois à quelques jours pour des phases d'activités volcaniques normales.

☉ En ce qui concerne le vivant, exceptée la durée de vie moyenne d'une espèce, estimée à **quelques millions d'années** (3 millions d'années en moyenne), la notion de temps à l'échelle des organismes est beaucoup plus courte (Doc. 4). Les durées de vie des êtres vivants, mesurées en années, en mois voire en jours, sont très brèves par rapport aux phénomènes géologiques en général. Au sein des cellules, la notion de temps change encore d'échelle : la mitose dure quelques heures, un potentiel d'action est généré en 1 milliseconde, des réactions chimiques catalysées par les enzymes sont réalisées en **une nanoseconde** (10^{-6} s).

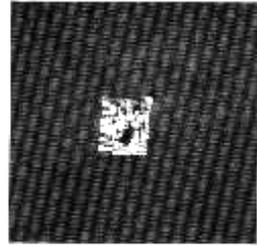
Doc. 1 : Du macroscosme à l'échelle humaine.

D'après Les puissances de dix, pour la Science, éditions Belin 1982, modifié Remérand 2002.

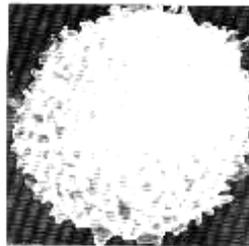


Doc. 1 : Vers le microcosme.

D'après *Les puissances de dix, pour la Science*, éditions Belin 1982, modifié Remérand 2002.



10^1 mètres



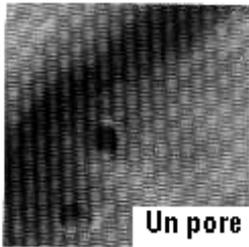
10^{-5} mètre **Une cellule**



10^{-11} mètre



10^{-2} mètre **Un humain**



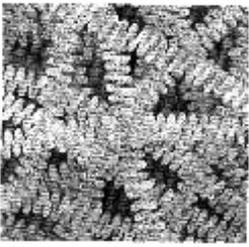
10^{-6} mètre **Un pore nucléaire**



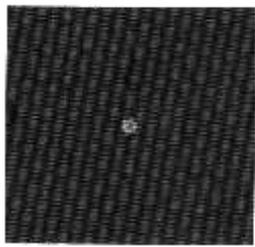
10^{-12} mètre



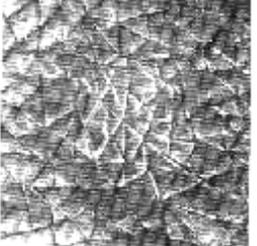
10^{-1} mètre **Sa main**



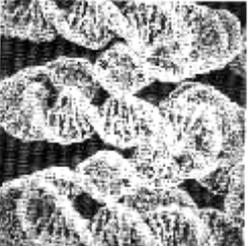
10^{-7} mètre



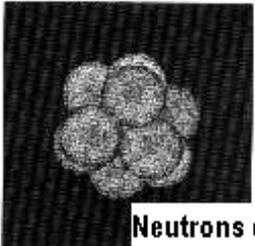
10^{-13} mètre



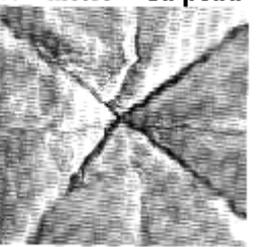
10^{-2} mètre **Sa peau**



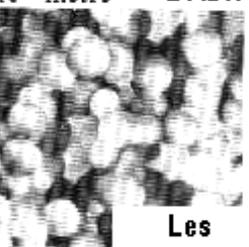
10^{-8} mètre **L'ADN**



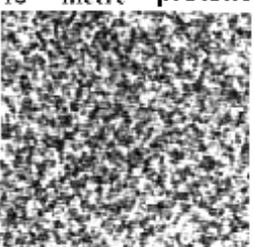
Neutrons et protons



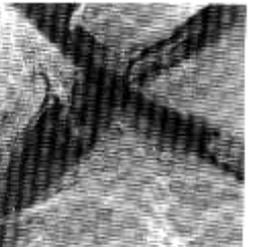
10^{-3} mètre



10^{-9} mètre **Les molécules**



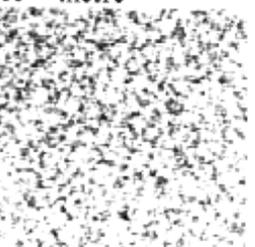
10^{-14} mètre



10^{-4} mètre



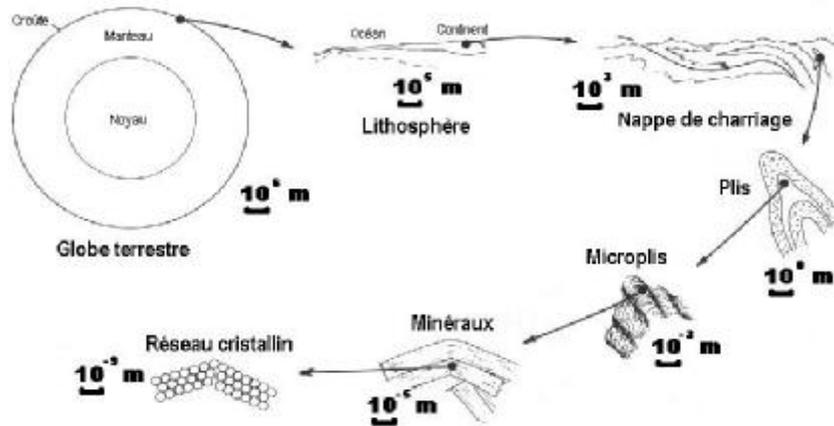
10^{-10} mètre **Orbite des électrons**



10^{-16} mètre **Quarks**

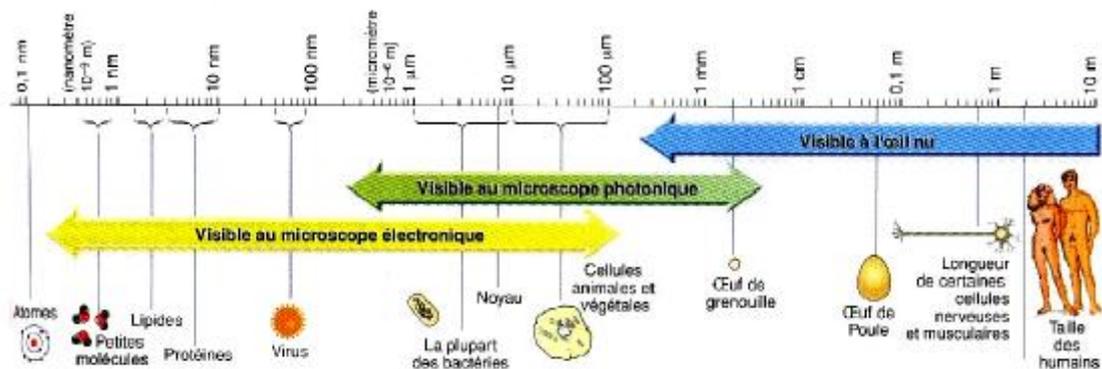
Doc. 2 : Les échelles de taille en géologie.

D'après *La planète Terre*, éditions Ophrys 1992, modifié Remérand 2002.



Doc. 3 : Les échelles de taille en biologie.

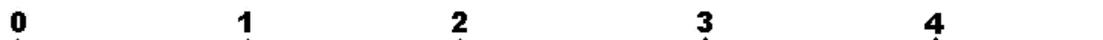
D'après *SVT 2^{de}*, éditions Nathan 2000.



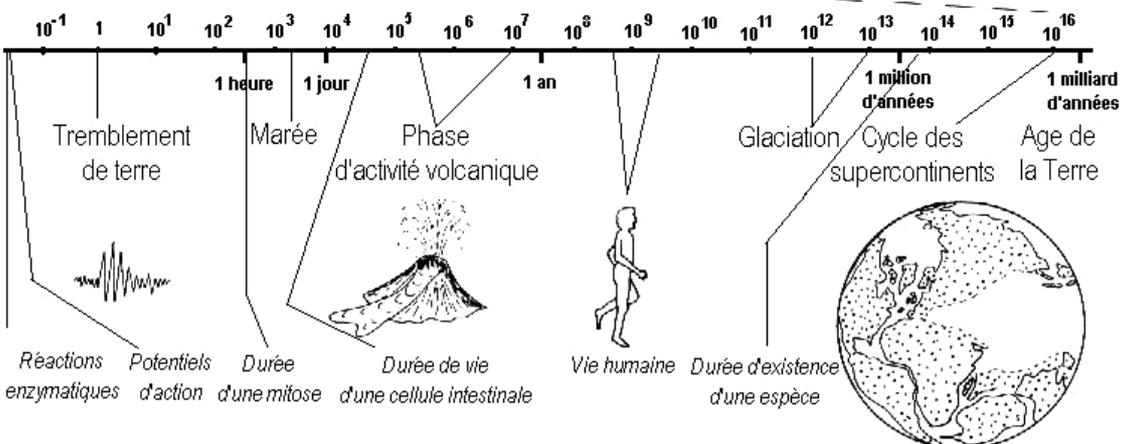
Doc. 4 : Les échelles de temps en biologie et géologie.

D'après *La planète Terre*, éditions Ophrys 1992, modifié Remérand 2002.

Echelle des durées linéaire en milliards d'années

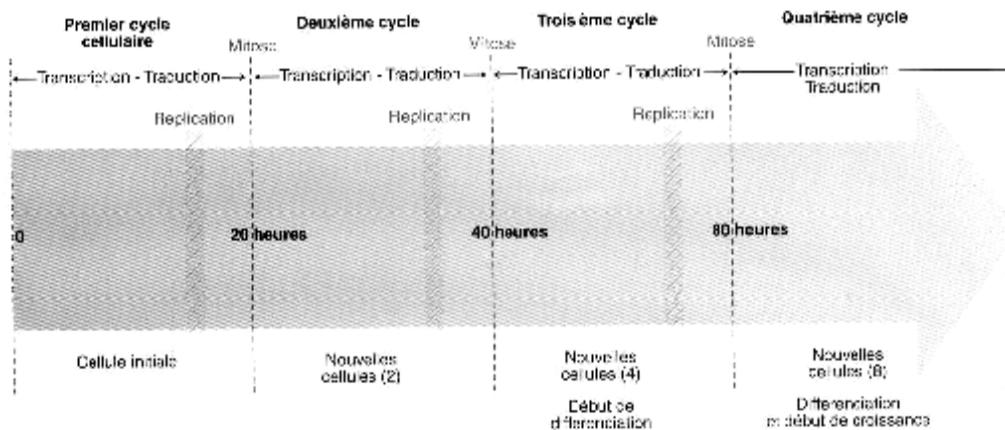
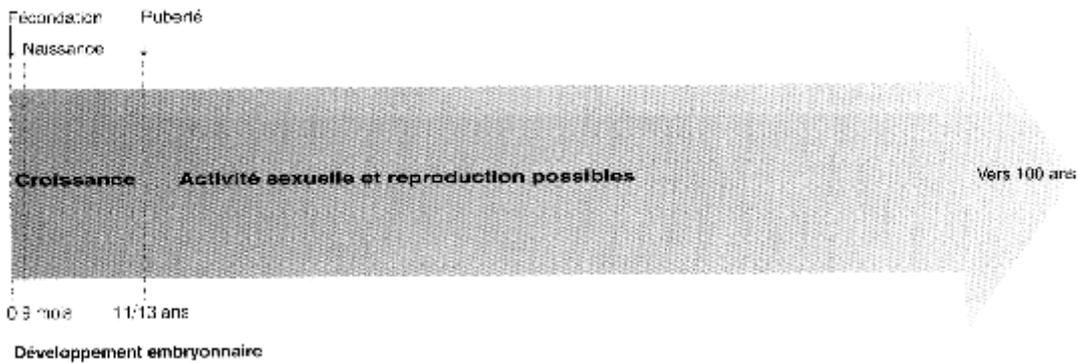
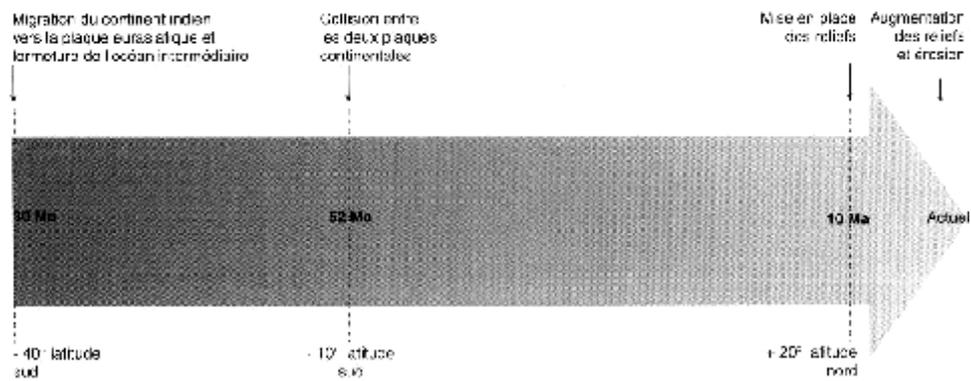
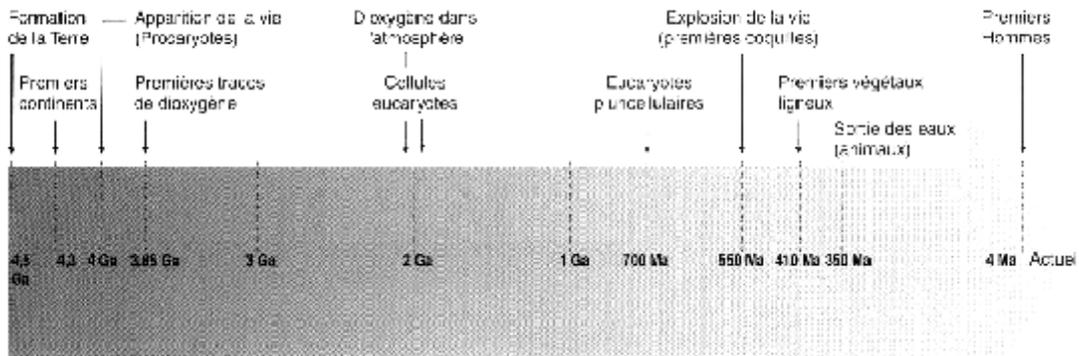


Echelle des durées logarithmique en secondes



Doc. 4 : Les échelles de temps en biologie et géologie.

D'après SVT Term S, éditions Nathan 2002.



II-2 Les méthodes de datation en géologie ou comment ordonner dans le temps des événements géologiques ou biologiques

Si l'âge de l'Univers fût appréhendé par des téléobjectifs (analyse spectrale), la datation des événements géologiques et paléontologiques fait appel aux datations relative et absolue.

II-2-1 La datation relative : positionner des événements les uns par rapport aux autres

☉ Cette méthode de datation permet de positionner des événements géologiques (ou paléontologiques), macroscopique ou microscopique, dans le temps, les uns par rapport aux autres : un événement est plus jeune ou plus ancien qu'un autre. Cette méthode de datation ne permet en aucun cas de donner l'âge précis des événements mais de donner l'ordre de leur formation.

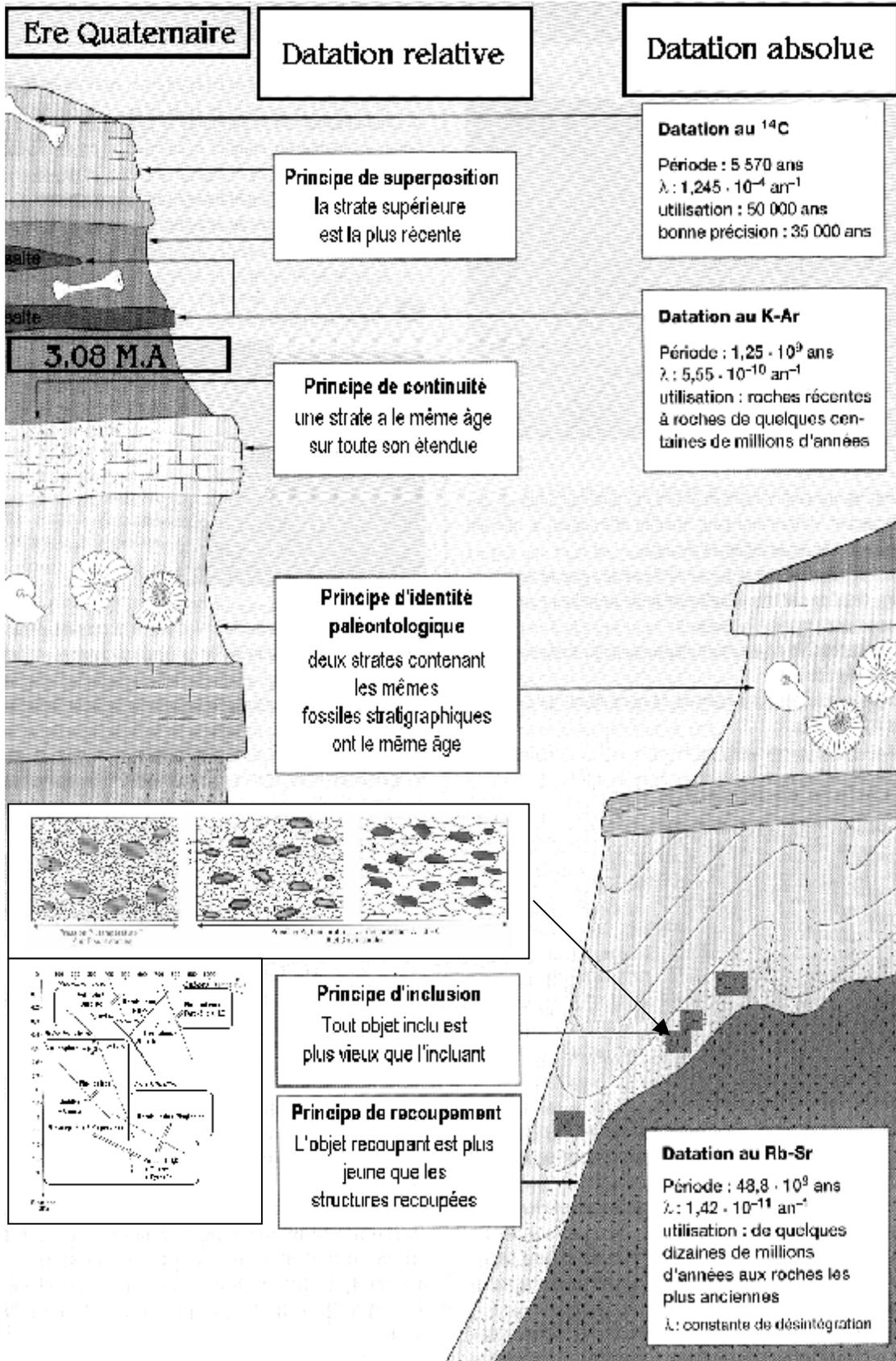
☉ Cette méthode de datation est fondée sur 5 principes (Doc. 5):

- **j le principe de superposition** : l'ordre des strates c'est-à-dire des couches sédimentaires, disposées de manière concordante en couches parallèles, indique leur âge relatif : la strate la plus ancienne est située à la base de la colonne sédimentaire, la plus récente s'est déposée la dernière et se trouve de ce fait en surface : exemples des varves, de la majorité des bancs sédimentaires, des coulées volcaniques. **C'est le principe de superposition des couches : une couche donnée est plus jeune que la couche qu'elle recouvre et plus ancienne que la couche qui la recouvre. Attention aux terrasses fluviales pour lesquelles la plus superficielle est la plus vieille. Attention également à la tectonique qui peut parfois inverser les couches et à l'érosion à l'origine de discordance angulaire (une même couche repose sur plusieurs couches d'âges différents : sortie géologique à Airvault près de la voie ferrée).**

Remarque : Une méthode de datation relative couramment utilisée et basée sur le principe de superposition se pratique à partir des varves. Les varves sont des successions de feuillets sédimentaires en milieu lacustre (lac) où alternent matériaux argileux et sableux, respectivement sombres et clairs. Leur origine s'explique par un contrôle saisonnier du débit des cours d'eau lié à la fonte des glaciers et surtout des inlandsis. **L'hiver**, les cours d'eau sont à l'étiage et les lacs voient les particules argileuses, sombres, sédimentées en milieu calme. **En été**, l'eau abonde et transporte des particules. **Les sables, particules claires** et plus lourdes que les argiles, décantent alors que les particules fines restent préférentiellement en suspension.

- **k le principe de recoupement** : la lente montée du magma granitique provoque la fusion des terrains en place et le métamorphisme des roches environnantes. Roches métamorphiques de l'encaissant et granites sont contemporains et plus récents que les couches géologiques traversées et métamorphosées qui forment les auréoles de métamorphisme. **C'est le principe de recoupement. La structure (failles, filons) qui recoupe ou déforme l'autre est plus récente que les couches recoupées ou déformées.**
- **l le principe d'inclusion** : lorsque les conditions de stabilité d'un minéral changent ce dernier disparaît au profit d'un autre qui "s'en nourrit". Parfois certains minéraux ne sont qu'imparfaitement transformés et demeurent identifiables. La présence de ces « reliques minérales » sous forme de **couronne de coronitisation** permet de retracer l'histoire de la roche, son chemin **Pression-Température-temps (P-T-t)**. La chronologie peut s'effectuer donc également à partir de l'étude chimique des minéraux, le dernier minéral se développant aux dépens du premier. **Ces événements sont postérieurs à la roche concernée (la roche étant un ensemble de minéraux). Tout objet contenu en inclusion dans une roche lui est antérieur, plus vieux. Ce sont des relations d'inclusions.**
- **m le principe de continuité** : une même couche géologique a le même âge sur toute sa longueur. De plus lorsque plusieurs couches géologiques sont encadrées au-dessous et au-dessus par les mêmes strates, l'ensemble des couches stratigraphiques est du même âge en chacun des points. **Attention, un changement de nature de roche ne signifie pas forcément un âge différent : il peut marquer une zone de transition entre deux milieux sédimentaires différents.**
- **n le principe d'identité paléontologique** : un fossile caractéristique d'un intervalle de temps dit **fossile stratigraphique** (les **trilobites** caractérisent l'ère primaire (590 à 245 MA), les **graptolites** caractérisent le silurien (440 à 410 MA), les **ammonites** caractérisent l'ère secondaire (245 à 65 MA), les **nummulites** caractérisent l'ère tertiaire (65 à 1.4 MA)) localisé dans deux couches

Doc. 5 : Les grands principes utilisés pour la datation relative complétés par la datation absolue.
 D'après SVT Terminale obligatoire, éditions Hatier 2002, modifié Remérand 2002.



séparées de quelques m à plusieurs milliers de km permet **de dater du même âge ces deux strates non continues**. D'après ce principe, **deux strates au même contenu paléontologique sont du même âge**. Ce principe d'identité paléontologique permet d'étendre un marqueur temporel lorsque le principe de continuité n'est pas applicable (deux couches non continues ou deux couches à la pétrographie différente car déposées dans des conditions géologiques, géographiques et climatiques différentes, toutes les couches d'un âge donné n'étant pas les mêmes à la surface du globe !!!). **Attention, des fossiles identiques mais non stratigraphiques, ne permettent pas de comparer l'âge de deux strates.**

☞ L'analyse des relations géométriques (superpositions, déformations, recouvrements, inclusions...) mettant en jeu des objets géologiques différents (mouvements de plaques, intrusions de plutons ou de filons, plis, failles, discordances, coulées volcaniques...) permet de reconstituer la chronologie des divers événements géologiques qui ont affecté *un minéral, une roche, une région ou la planète*.

Remarque : Un autre principe est souvent utilisé en géologie pour la reconstitution des paléo-environnements, c'est **le principe d'actualisme** : Les parties fossilisées dans les roches sédimentaires sont souvent les parties dures : dents, squelettes ou des empreintes (pas, feuilles...) rarement des parties molles (poils, peau, plumes...). C'est à partir de ces fossiles plus ou moins bien conservés, plus ou moins complets que l'individu fossile est reconstitué puis identifié par référence à un être vivant actuel comparable et qu'un milieu de vie est décrit, suivant le principe de l'actualisme. **On suppose** que les lois régissant les phénomènes biologiques et géologiques actuels étaient également valables dans le passé : les phénomènes géologiques observés actuellement devaient se dérouler de la même manière par le passé ou bien des êtres vivants actuels et fossiles aux formes et milieux de vie similaires devaient avoir des physiologies et modes de vie comparables. **Attention, rien ne nous prouve que ce principe est toujours vrai !**

II-2-2 La datation absolue : chiffrer le temps écoulé, donner l'âge d'un événement

RLe principe

☞ La datation relative ne permet pas de chiffrer l'âge d'un phénomène géologique ou d'aborder directement la durée des phénomènes observés. Pour **obtenir l'âge d'une strate, d'une roche, d'un minéral, exceptionnellement d'un fossile, ou la durée d'un phénomène**, on utilise une méthode s'appuyant sur la **désintégration d'isotopes radioactifs naturels**. Cette transformation **régulière** d'un élément radioactif instable père (radionucléide) en élément fils stable (radiogénique) associé à un rayonnement (α = Hélium, β = électrons et/ou γ = proton) se fait à vitesse constante appelée **constante radioactive λ (propre à chaque isotope)** et constitue de ce fait **une véritable horloge** (Doc. 6).

Cette datation absolue, reposant donc sur la fission des atomes instables, nécessite la connaissance de :

- **la vitesse de désintégration des atomes instables c'est-à-dire la constante radioactive λ ou bien leur période radioactive T encore appelée demi-vie, différente selon les couples « isotope radioactif-isotope radiogénique »**
- **la mesure quantitative de l'élément initial, élément père, et des éléments néoformés par fission, éléments fils, mesure réalisée par un spectromètre de masse.**

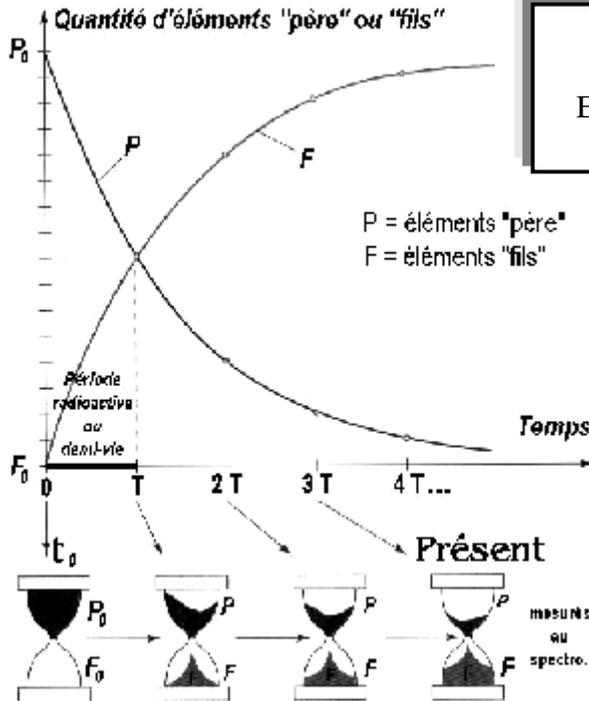
On mesure ainsi **la disparition d'un élément père ou l'apparition d'un élément fils**.

☞ **L'âge calculé de l'échantillon correspond au moment où les isotopes radioactifs de cet échantillon ont été confinés, enfermés au sein du matériel** : aucun constituant n'a été échangé avec l'extérieur à partir de ce moment là. **Le système est fermé**. La date trouvée est celle de la fermeture du système. **Généralement, les roches sédimentaires sont des systèmes ouverts. Sauf cas particuliers du carbone 14**, où le système se ferme à la mort de l'organisme, l'être vivant n'absorbe ou ne rejette plus de molécules carbonées (CO₂), **la radiochronologie ne permet pas de dater des roches sédimentaires. Seules les roches magmatiques et métamorphiques engendrent des systèmes fermés, dans des conditions de pression-température données, lors de la cristallisation des minéraux** (qui est très rapide pour les roches volcaniques mais demande parfois plusieurs milliers voire millions d'années pour un magma type granitoïde à la remontée et au refroidissement lents).

☞ **La faisabilité de la datation et la précision de la date calculée dépendent donc de :**

- **la qualité et la pertinence de l'échantillon recueilli,**
- **la période de l'isotope choisie pour l'analyse.**

Doc. 6 : La datation absolue est fondée sur la désintégration régulière d'isotopes radioactifs.
 D'après SVT Terminale obligatoire, éditions Bordas et Hatier 2002, modifiés Remérand 2002.



Elément Père
 \dot{E} (vitesse constante λ)
 Elément Fils + rayonnement énergétique
 (α = Hélium, β = électrons et/ou γ = proton)

$P = P_0 e^{-\lambda t}$

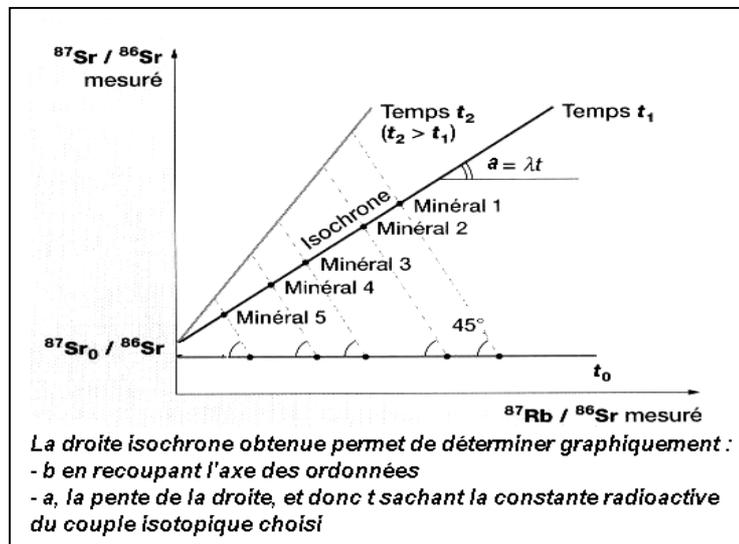
L'âge de l'échantillon se calcule soit en fonction de :

$t = 1/\lambda \cdot \ln (P_0 \text{ initial} / P_{\text{mesuré}})$

OU

$t = 1/\lambda \ln (1 + (F_{\text{mesuré}} + F_0 \text{ initial})/P_{\text{mesuré}})$

Couple isotopique	Période T (an)	Constante radioactive (an ⁻¹)	Objets datés		Calcul de l'âge (an)	Originalité	Limite d'utilisation
²³⁸ U/ ²⁰⁶ Pb	4.53 . 10 ⁹	1.54 . 10 ⁻¹⁰	Zircon	R. magma.	droite isochrone et a = λt	Concentrations initiales en isotopes père et fils inconnues, détermination graphique	De 10 ⁷ à 4.5 . 10 ⁹ ans
⁸⁷ Rb/ ⁸⁷ Sr	47. 10 ⁹	1.42 . 10 ⁻¹¹	Biotite, muscovite, feldspath, amphibole	R. magma. et Méta.	droite isochrone et a = λt		
⁴⁰ K/ ⁴⁰ Ar	1.27. 10 ⁹	5.81 . 10 ⁻¹¹			$t = \ln (1 + \frac{^{40}\text{Ar}}{^{40}\text{K}}) / \lambda$	⁴⁰ Ar initial = 0	De 10 ⁴ à 4.5 . 10 ⁹ ans
¹⁴ C/ ¹⁴ N	5730	1.2 . 10 ⁻⁴	Bois, os, coquille	R. sédi.	$t = \ln (^{14}\text{C}_{\text{initial}} / ^{14}\text{C}_{\text{mesuré, actuel}}) \cdot T / \ln 2$	¹⁴ C initial = 1.2 . 10 ⁻¹²	De 100 à 50.000 ans



RLes couples d'isotopes

☞ Une fois le système fermé, la quantité d'isotope radioactif diminue de manière régulière. **La datation n'est valide que si l'on mesure des durées allant du centième à 10 fois la période de l'isotope choisi. En deçà et au-delà, la datation n'est plus assez précise.**

- **Le carbone 14**, du fait de sa **demi-vie de 5370 ans**, est particulièrement **bien adapté à la mesure de durées inférieures à 30.000 - 40.000 ans**. Le ¹⁴C est produit en haute atmosphère à partir de l'azote de l'air ¹⁴N bombardé de rayons cosmiques. On considère qu'il est produit régulièrement et qu'il est en proportion constante et connue (mesurée) dans tous les milieux et tous les êtres vivants qui échange du CO₂ avec l'atmosphère: en effet, le ¹⁴CO₂ est incorporé constamment dans les chaînes alimentaires via la photosynthèse. Lorsqu'un être vivant meurt, il stoppe ses échanges carbonés avec le milieu et ferme alors le système. Le ¹⁴C qu'il contient commence à se désintégrer et diminuer à partir de sa mort. Il en est de même pour une masse d'eau isolée (glace des calottes glaciaires) ou d'un carbonate précipité et isolé (coquille, stalagmites et stalagmites). En connaissant le rapport ¹⁴C/¹²C dans le milieu de prélèvement de l'échantillon, la mesure de la proportion ¹⁴C/¹²C dans les restes d'êtres vivants (os, cheveux, bois, coquille), fournit la durée écoulée depuis la mort ou « l'isolement » de l'organisme. Ce calcul est aisé car on connaît le rapport ¹⁴C/¹²C de départ dans le milieu. **Dans ce cas on a mesuré le ¹⁴C résiduel, la disparition du ¹⁴C.**

$$t \text{ (âge de l'échantillon en années)} = \ln \left(\frac{{}^{14}\text{C}_{\text{initial}}}{{}^{14}\text{C}_{\text{mesuré, actuel}}} \right) \cdot T / \ln 2$$

avec $\lambda = 1.2 \cdot 10^{-2}$ et $T = 5730$ ans pour le couple d'isotopes ¹⁴C/¹⁴N

- **Le couple potassium-argon (K-Ar)** permet d'aborder des datations de roches beaucoup plus anciennes : **entre 1 et 300 millions d'années**. Contrairement au ¹⁴C, la quantité initiale de l'isotope fils est nulle. On va donc **mesurer la quantité d'élément fils apparu**. La méthode K-Ar montre des limites dans le sens où l'argon existe en quantité non négligeable dans l'atmosphère et autres fluides circulants ; l'échantillon peut être contaminé et conduire à des dates erronées.

$$t \text{ (âge de l'échantillon en années)} = \ln \left(1 + \frac{{}^{40}\text{Ar}}{{}^{40}\text{K}} \right) / \lambda$$

avec $\lambda = 5.81 \cdot 10^{-11}$ et $T = 1.27 \cdot 10^9$ ans pour le couple d'isotopes ⁴⁰K/⁴⁰Ar

- Généralement, pour les couples d'isotopes utilisés (²³⁸U/²⁰⁶Pb, ²³⁵U/²⁰⁷Pb, ⁸⁷Rb/⁸⁷Sr) pour dater des roches âgées de **plusieurs millions à quelques milliards d'années**, la quantité d'isotope initial est inconnue. *On a donc deux inconnues* : la quantité initiale d'isotope radioactif et l'âge de l'échantillon. Deux inconnues nécessitent donc deux équations pour résoudre le système. On réalise **ainsi deux séries de mesures avec deux couples isotopiques différents (⁸⁷Rb/⁸⁷Sr et ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr par exemple) sur deux minéraux (ou plus) appartenant à la même roche**. A partir des mesures de rapports isotopiques mesurés sur les différents minéraux de la roche, on dresse un tableau puis on trace une droite (⁸⁷Rb/⁸⁷Sr en fonction de ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr par exemple pour ce couple isotopique) nommée isochrone de type $y = ax + b$ où le coefficient directeur a et la constante b (rapport isotopique à t_0) sont déterminés graphiquement.

$$t \text{ (âge de l'échantillon en années)} = \ln \left(\frac{a + 1}{\lambda} \right) / \lambda$$

avec $\lambda = 1.42 \cdot 10^{-11}$ et $T = 47 \cdot 10^9$ ans pour le couple d'isotopes ⁸⁷Rb/⁸⁷Sr

☞ Le choix du couple isotope pour calculer un âge dépend de l'âge présumé de l'échantillon et de sa nature (sédimentaire, magmatique ou métamorphique). Cette méthode de datation absolue permet de dater des roches métamorphiques d'une chaîne de collision, des roches volcaniques et plutoniques associées à une zone de subduction...

☞ L'utilisation de l'ensemble des principes de datation relative a permis de construire une référence temporelle mondiale : l'échelle stratigraphique internationale des temps géologiques découpée en ères (Primaire, Secondaire...), systèmes (Crétacé, Miocène...) et étages (Toarcien, Maastrichien...). Les méthodes de datation absolue ont permis de caler dans le temps l'échelle stratigraphique.

Conclusion

☞ L'histoire du vivant s'inscrit dans celle de l'Univers et plus particulièrement dans l'histoire de la Terre. L'évolution conjointe de la Terre et de la Vie nécessite d'appréhender les échelles spatiale et temporelle des domaines biologiques et géologiques. Pour ce faire des outils nous ont permis de mesurer l'espace et le temps, téléobjectif et microscopes pour l'un, téléobjectif, principe de datation relative et radiochronologie pour l'autre.

☞ Habitué à une échelle de distance calée sur notre environnement proche et une échelle de temps, réglée sur notre propre vie, sur notre propre rythme biologique, nous appréhendons spontanément des ordres de grandeurs comprises entre le mm et de km et des phénomènes dont la durée oscille entre la seconde et 100 ans, la durée d'une vie humaine. Par contre il devient de plus en plus difficile de concevoir des distances et des durées au fur et à mesure que ces grandeurs s'éloignent de nos repères habituels.

☞ Le temps en géologie est une mesure souvent difficile à appréhender. Les phénomènes géologiques, à l'échelle humaine, sont d'une manière générale mal appréciés car difficiles à concevoir.

Si quelques phénomènes géologiques sont rapides, de l'ordre de la seconde pour les secousses sismiques, la très grande majorité des événements géologiques se déroulent très lentement : ouverture d'un océan, soulèvement ou subsidence, formation et érosion d'une chaîne de montagne, sédimentation... nécessitent plusieurs milliers d'années et se mesurent en cm/an voir en cm/ 1.000 ans, des mesures que l'homme n'utilise guère au quotidien !!!

Remarque : Bien que quelques-uns des phénomènes géologiques soient mesurables à l'échelle humaine, la plupart restent du domaine de l'hypothèse tant les événements sont lents, ils sont alors accompagnés d'une incertitude non négligeable (incertitude qui varie selon l'outil utilisé : **datations absolue, relative (disposition des couches et utilisation de fossiles repères dits stratigraphiques)**...). La datation de tels événements géologiques lents et contemporains reste difficile à apprécier. Il convient donc d'être particulièrement prudent quant à l'estimation de la durée d'événements passés.

☞ Enfin, à la vue de la frise du temps, notre planète, en ce qui concerne ses enveloppes, lithosphère, atmosphère, hydrosphère et biosphère, montre deux propriétés apparemment contradictoires : **stabilité et variabilité. Cette contradiction disparaît si l'on prend en compte la dimension temporelle :**

- Si à l'échelle humaine, la Terre paraît très **stable**, cet immobilisme apparent ne doit pas faire oublier les **modifications** lentes mais considérables qu'a connu la planète depuis sa formation, il y a 4.5 milliards d'années comme notamment la dislocation de la Pangée, **les cycles orogéniques (de l'accrétion à la collision en passant par la subduction) et glaciaires**...(Dossier 2)
- Le monde vivant présente une unité structurale (cellules, organites, vu en Seconde) et fonctionnelle (mitose (vu en 1^{ère}), **méiose** (Dossier 4), **métabolismes auto et hétérotrophes** (Dossier 3 de Spé.)). Cette **stabilité** structurale et fonctionnelle se retrouve au sein d'espèces très diversifiées, très **variables**. Cette diversité du monde vivant est à l'origine de la conquête de tous les milieux et du maintien de la Vie au cours des temps géologiques. Cette **stabilité** de la Vie au travers du temps nécessite :
 - **une évolution** plus ou moins rapide des espèces dont **la variabilité** génétique est au cœur même des mécanismes évolutifs (Dossier 3)
 - **une stabilité** de l'espèce dont **la procréation** (Dossier 5) et, là encore, **la variabilité** génétique sont sous-tendus (Dossier 4)
 - **une stabilité** de l'individu maintenu par **la variabilité** de certains de ces constituants comme **les acteurs du système immunitaire** (Dossier 6).

☞ **Stabilité et variabilité serviront de fil conducteur au programme de terminale S.**

**DOSSIER 1 – L'approche du temps en biologie-géologie et la mesure du temps dans
l'Histoire de la Terre et de la Vie-
résumé**

j 40 puissances de 10 séparent le macrocosme du microcosme, mondes observables par des télescopes ou des microscopes photonique, polarisant, électronique.

k La mesure du temps et des durées géologiques, difficile à concevoir pour un être humain, se fait par des méthodes de datations relative et absolue.

l La datation absolue est fondée sur 5 principes : superposition, recoupement, inclusion, continuité et identité paléontologique, généralement utilisables de l'échelle du paysage, à l'échelle du minéral

m La datation absolue est basée sur la désintégration régulière d'atomes radioactifs naturels enfermés dans les échantillons à dater. En fonction de l'âge estimé de l'échantillon, un couple d'isotopes sera sélectionné et la mesure de chacun des isotopes sera réalisé par un spectromètre de masse. En fonction des couples, plusieurs formules mathématiques serviront au calcul de l'âge de l'échantillon.

n Chaque couple isotopique possède une limite de validité et seuls les systèmes fermés peuvent faire l'objet d'une datation sauf avec lors de datations au carbone 14..

o La chronologie relative associée à la datation absolue ont permis aux géologues de créer l'échelle stratigraphique internationale et de la caler dans le temps.

p L'apparente stabilité des phénomènes géologique ou biologique cache en fait une grande variabilité lorsque l'on change de repère temporel. Derrière une grande stabilité, le monde est en fait très variable et derrière une grande variabilité ce même monde montre une grande stabilité.