

Thème 1-B A la recherche du passé géologique de notre planète

Classe : Terminales SPE
Durée envisagée : 1 semaine
Nombre de TP : 1

En rouge : Bilans à faire noter aux élèves

En bleu : Activités pratiques

En vert : Problématique et hypothèses



Chapitre 1 - Datation relative et absolue

Introduction :

La Terre est une planète tellurique du système solaire dont la formation remonte à 4,6 milliards d'années (4,6 Ga). La **géologie** est la science qui étudie la Terre et les roches qui la composent. Une partie du travail du géologue consiste à **reconstituer l'histoire** de la Terre et des terrains, ce qui permet de déterminer **l'âge relatif** des événements qui ont affecté une région : c'est la **datation relative**. Cette démarche est complétée par **l'étude des fossiles (paléontologie)** mais aussi par la **datation absolue** des roches grâce à des **méthodes radiochronologiques** (basées sur la radioactivité de certains éléments chimiques contenus dans les roches). L'ensemble de ces méthodes permet de reconstituer l'histoire de la Terre et de construire **l'échelle des temps géologiques**. Celle-ci est enrichie régulièrement par les découvertes de nouveaux fossiles ou de nouveaux affleurements.

Problématique : Comment reconstituer le plus précisément possible les événements qui ont affecté la Terre ?

I. La datation relative et ses principes (p124-125)

1- La datation relative et ses modalités

La datation relative se base sur l'étude des relations géométriques qui affectent les objets géologiques afin de reconstituer la séquence d'événements chronologiques (avant/après). Cette méthode peut être appliquée à différentes échelles (lame mince, étude des roches, affleurement, carte géologique).

Par exemple, l'observation d'un affleurement : une zone où les roches sont en surface et nettement visibles permet de visualiser les strates (ou couches) de roches sédimentaires, les plis, failles et inclusions qui ont pu les affecter.

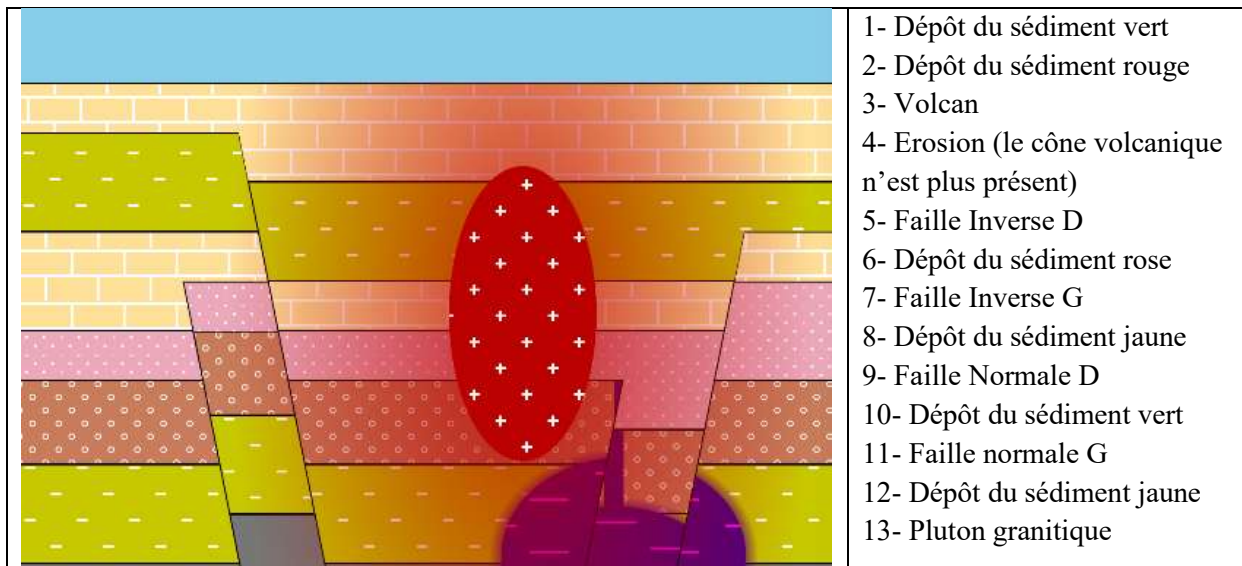
2- Les principes de la datation relative

La datation relative se base sur 3 principes généraux :

- Principe de superposition : les couches les plus récentes recouvrent les plus anciennes (récent en surface, âgé en profondeur).
- Principe de recoupement : un élément qui est recoupé par un autre est plus ancien. Ex : les failles, les plis, les cheminées volcaniques, plutons qui peuvent recouper des terrains plus anciens.
- Principe d'inclusion : un élément inclus dans un autre est plus ancien. On considère que les volcans et plutons (événements magmatiques) correspondent plutôt à des recoupements et non à des inclusions.

3- L'application de ces principes

Activité : Défi de Lyell - Un exemple de chronologie relative



Lorsque ces principes ne sont pas respectés sur un affleurement, il faut rechercher les causes des bouleversements observés. Par exemple, lorsque des sédiments anciens reposent sur des sédiments récents, on peut envisager que les terrains ont été déplacés par un chevauchement (voir programme 1ere SPE).

Source intéressante : <https://web.archive.org/web/20190419160700/http://www.cnrs.fr/cnrs-images/sciencesdelaterreaulycee/contenu/geochrono1.htm>

II. Les fossiles et la construction de l'échelle stratigraphique

1- Les roches et les fossiles (p126-127)

Les roches sédimentaires sont formées de particules de petite taille qui se sont déposées et se sont compactées pour former une roche (ex : calcaire, grès, marnes ...). Connaissant ce mécanisme, les géologues ont défini un nouveau principe :

- Principe de continuité : une strate sédimentaire possède le même âge sur toute sa longueur. Ainsi, si on retrouve une roche sédimentaire d'une nature particulière (faciès), encadrée par une roche plus ancienne (le mur) et une roche plus récente (le toit) à 2 endroits différents, on pourra dire qu'elles ont le même âge.

2- Les fossiles stratigraphiques et la datation (p128-129)

Les roches sédimentaires peuvent également accumuler des fossiles : ce sont des restes d'êtres vivants tels que des coquilles, des squelettes qui ont été transformés en roche ou en moulage. Ex : Ammonites, Bélemnites, Foraminifères, Radiolaires ...

Les fossiles attestent de nombreuses informations : climat, nature de l'environnement (eau de mer, eau douce, présence de végétaux ...) et sont également un indice de l'âge relatif des roches sédimentaires. Les géologues ont donc défini un autre principe :

- Principe d'identité paléontologique : des roches sédimentaires de même nature et présentant exactement les mêmes associations de fossiles ont le même âge.

De plus, certains fossiles sont qualifiés de « fossiles stratigraphiques » car ils possèdent 3 caractéristiques qui les rendent « universels » :

- Ils étaient présents dans le monde entier
- Ils étaient présents en grande quantité
- Ils ont eu une courte durée de vie

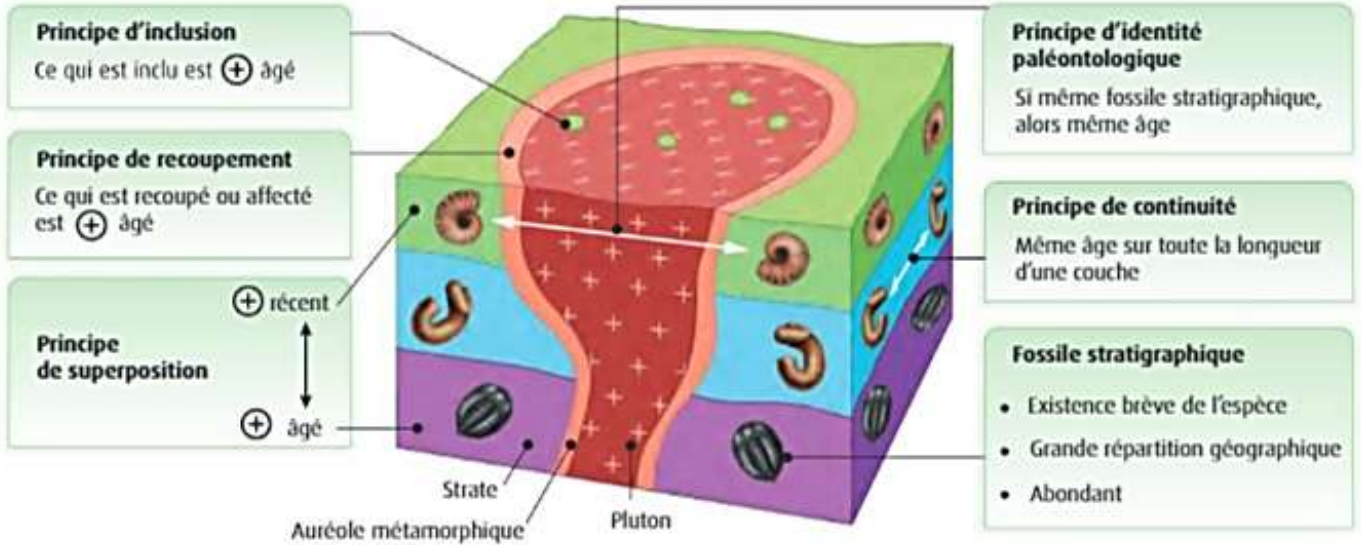
Ceci permet donc d'utiliser les fossiles stratigraphiques partout dans le monde afin d'identifier une époque précise de l'histoire de la Terre associée à un âge assez précis.

3- L'échelle chronostratigraphique (p130-131)

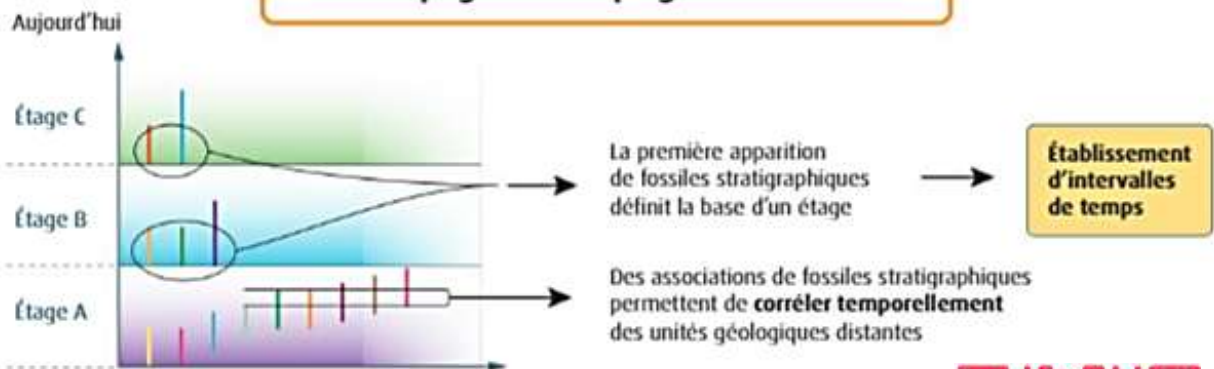
Ainsi, l'étude des roches sédimentaires a permis de découper l'histoire de la Terre en grandes ères (Primaire, Secondaire, Tertiaire, Quaternaire) puis en période (Trias, Jurassique, Crétacé ...) puis en étage (Maastrichtien, Danien ...). Chaque période est définie par des roches particulières et des associations de fossiles spécifiques. On recherche alors des marqueurs de la séparation de ces périodes ou étages qui sont marquées par la disparition brutale de certains fossiles suivie d'une apparition très rapide d'autres fossiles.

Ex (p135) : La transition entre le secondaire et le Tertiaire correspond à une crise biologique (Crise KT) qui a vu l'extinction des Dinosaures mais qui est marquée précisément par des fossiles marins : les globotruncana (qui ont disparu, en même temps que les Ammonites et les Dinosaures) et les globigérines (qui sont apparues).

Les principes de la datation relative



Le découpage du temps grâce aux fossiles



L'échelle stratigraphique

- Valeur internationale
- Coupures de différents ordres :

Ère	Période	Étage
Secondaire = Mésozoïque	Crétacé	...
		Berriasien
	Jurassique	...
		Pliensbachien
		Sinemurien
		Hettangien
	Trias	Rhétien
		...



III. La datation absolue

TP1 - La datation absolue

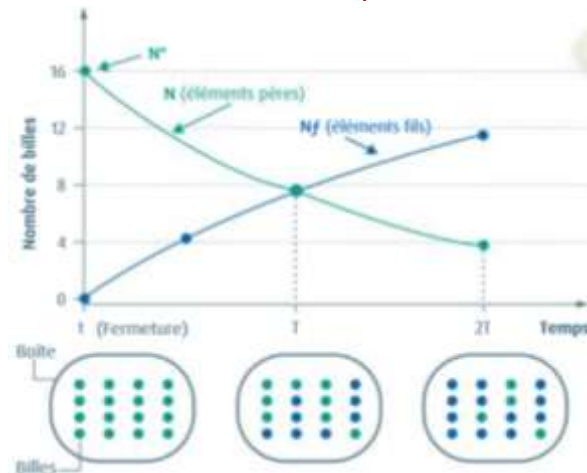
1- Le principe de la datation absolue (p146-147)

La radiochronologie permet de dater plus précisément les roches en se basant sur les propriétés de la désintégration radioactive. Un isotope radioactif (élément père) est instable et se désintègre en isotope radiogénique (élément fils) selon une loi exponentielle décroissante qui s'écrit sous la forme :

$$N = N_0 \times e^{-\lambda t}$$

N = nombre actuel d'atomes de l'élément père

N_0 = nombre initial d'atomes de l'élément père



Source : Doc3p147 (BELIN)

Cette réaction se déroule à une vitesse qui est propre à l'isotope considéré et correspond à sa constante de désintégration (λ). A partir de cette vitesse, on peut également définir la demi-vie (T) qui correspond à la dégradation de 50% des éléments père. Ces 2 paramètres sont reliés par la relation suivante :

$$T = \ln 2 / \lambda$$

Généralement, on ne peut pas appliquer la loi de décroissance radioactive directement car il y a 2 inconnues : on ne connaît pas le nombre d'atomes radioactifs de départ : N_0) et le nombre d'éléments radiogéniques n'est pas forcément nul dans l'échantillon. Pour ce faire, on va donc normaliser les concentrations avec un élément stable proche du couple étudié.

Ainsi, on assimile la désintégration des éléments père à un chronomètre (géochronomètre) qui permet de dater précisément les roches, les minéraux ou les fragments d'objets (êtres vivants ...). L'âge obtenu correspond à l'âge de fermeture du système : c'est l'âge de la mort d'un être vivant, de la cristallisation du magma, ou du métamorphisme d'une roche (qui ouvre à nouveau le système).

Enfin, le choix de la méthode appliquée dépend de l'âge estimé de l'échantillon (constante de désintégration adaptée) et sa nature chimique : présence de l'élément dans l'échantillon. Par exemple, les granites seront datés par la méthode Rb/Sr alors que les basaltes et gabbros seront datés par la méthode Sm/Nd (même principe mais Rb trop peu présent dans les gabbros).

2- La méthode Rb/Sr : la méthode des isochrones (p148-149)

La méthode Rb/Sr est un outil radiochronologique permettant de dater les roches continentales (contenant K et Ca) telles que les granites. La fenêtre d'utilisation optimale de cette méthode est comprise en 50 et 500 Ma.

Pour déterminer l'âge de l'échantillon (roche ou minéral), on utilise la méthode de la droite isochrone. Pour cela, on place les points donnés par les rapports $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ et $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ puis on trace la droite de régression (droite « moyenne ») qui passe par ces points : c'est la droite isochrone. Cette droite présente une pente (coefficient directeur a) d'autant plus importante que le temps est important. La relation entre la pente et l'âge de l'échantillon est déterminé par l'équation :

$$t = \ln(a+1) / \lambda$$

t = âge de l'échantillon

a = pente de l'isochrone

λ = constante de désintégration radioactive : $1,42 \cdot 10^{-11}$ pour Rb/Sr

$\ln$: logarithme népérien

Au moment de la cristallisation d'une roche, les rapports $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ sont identiques (rapport $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ du magma). Néanmoins, certains minéraux sont plus riches en ^{87}Rb (cas de la biotite, riche en K) et les rapports $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ sont donc différents selon le minéral. Dès que la roche est formée (fermeture du système), le ^{87}Rb se désintègre et le $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ rapport commence à diminuer. Comme ^{87}Rb se désintègre en ^{87}Sr , le rapport $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ va, au contraire, augmenter.



Remarque : Cette méthode donne un âge avec une précision de l'ordre de 10 Ma. Elle est particulièrement adaptée pour la datation des roches de la croûte continentale (granites). Pour la croûte océanique (basalte, gabbro), on utilise une variante basée sur le même principe : la méthode Sm/Nd.

3- La méthode U/Pb : la méthode Concordia (p152-153)

Les objets plus anciens (500 à 4500 Ma) peuvent être datés par la méthode U/Pb. L'Uranium ^{238}U se désintègre en ^{206}Pb alors que ^{235}U se désintègre en ^{207}Pb . On construit alors un graphique présentant les variations des rapports théoriques $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ en fonction de $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$. Cela produit une courbe sur l'âge est connu et que l'on appelle courbe concordia (concordance des rapports Pb/U). En théorie, il suffit de déterminer les rapports Pb /U et de placer le point sur la concordia pour lire l'âge de l'échantillon. Cependant, en pratique, les rapports isotopiques des échantillons sont généralement en dehors de la concordia et sont alignés selon une droite que l'on appelle : droite discordia. La discordia recoupe la concordia en 2 points :

- Le point « haut » (le plus ancien) est l'âge de la roche
- Le point « bas » (le plus récent) est l'âge de transformation de la roche (métamorphisme).

Remarque : Cette méthode est donc particulièrement adaptée pour des échantillons anciens (entre 0,5 à 5 Ga) et de type métamorphique (gneiss). Elle est également utilisée pour dater les météorites ainsi que l'âge de la Terre. Elle n'est cependant pas utilisée pour les roches océaniques dont l'âge est généralement inférieur à 200 Ma (cf âge des fonds océaniques).

4- La méthode K/Ar (p150-151)

Certains échantillons plus récents peuvent être datés par la méthode K/Ar qui se base sur la désintégration radioactive de l'isotope radioactif : ^{40}K en isotope radiogénique (fils) : ^{40}Ar . La demi-vie étant de 1,26 Ga, elle s'applique aux échantillons d'un âge compris entre 1 à 300 Ma qui contiennent du potassium (roches continentales).

Dans ce cas, on mesure les concentrations des 2 éléments mais on ne rapporte pas ces concentrations à des standards. En effet, l'argon étant un gaz, sa concentration initiale est nulle. On obtient donc l'âge par le calcul suivant :

$$t = \ln(a + 1) / \lambda$$

soit

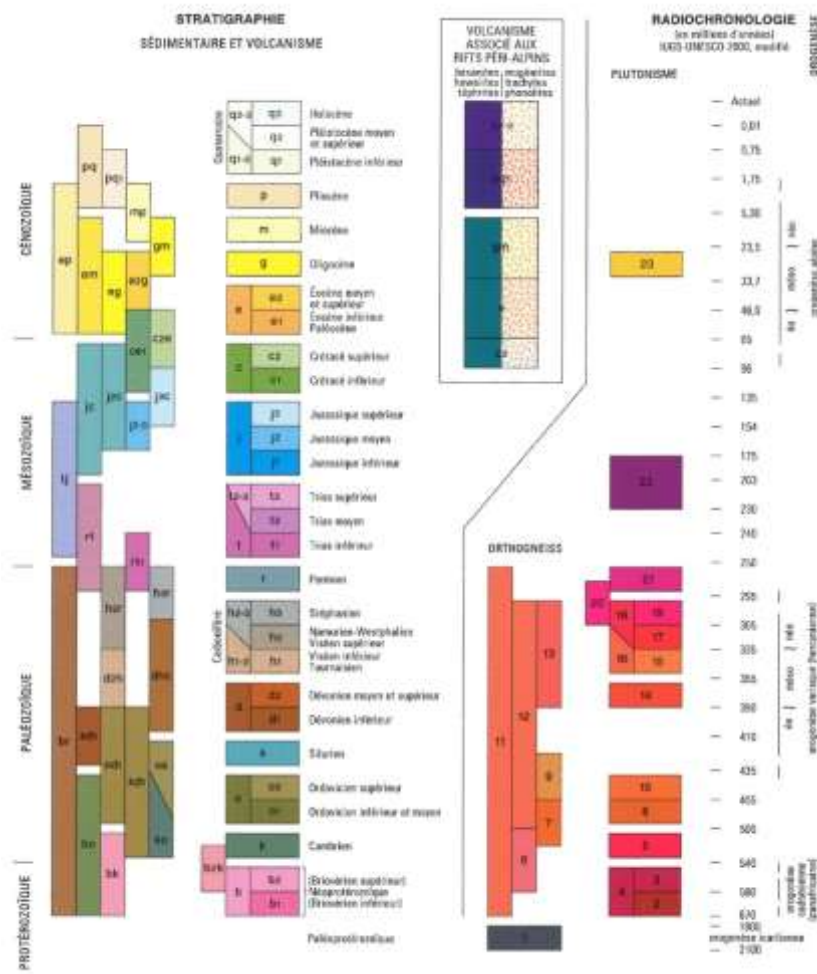
$$t = \ln(^{40}\text{Ar} / ^{40}\text{K} + 1) / \lambda$$

$$\lambda = 5,81 \cdot 10^{-11} \text{ /an}$$

Remarque : Il existe une variante (technique $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$) qui permet de normaliser la quantité de ^{40}Ar par rapport à la quantité de ^{39}Ar .

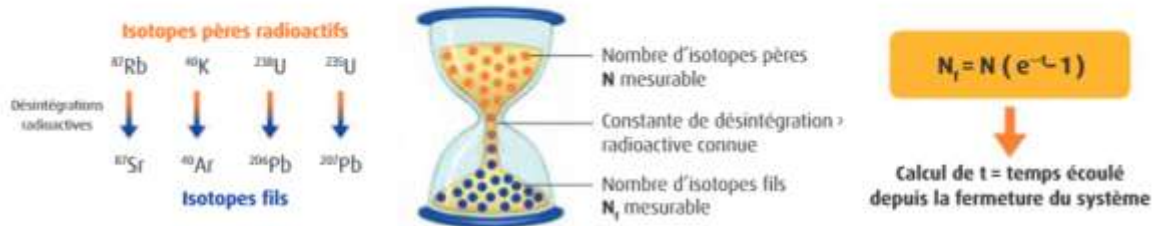
CONCLUSION :

L'ensemble des méthodes de datation sont complémentaires et permettent d'aboutir à l'échelle chronostratigraphique qui tient compte à la fois de la datation relative mais aussi de la datation absolue. La légende des cartes géologique montre bien cette complémentarité.



SCHEMA BILAN (Belin) : La formule K/Ar erronée a été corrigée

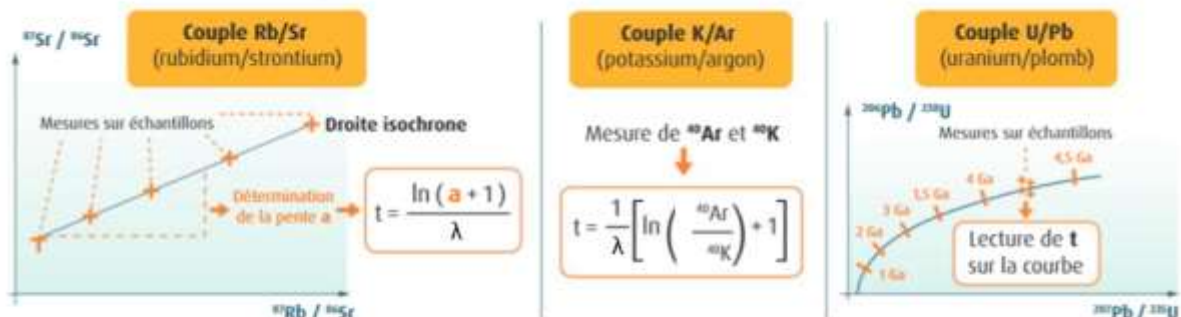
Principe de la datation absolue



Application de la datation absolue aux roches



Méthodes de détermination de l'âge



Datation absolue et échelle chronostratigraphique



Ressource complémentaire :

- <https://planet-terre.ens-lyon.fr/article/sqf-2004-Labrousse.xml>
- <http://www.archeologiesenchantier.ens.fr/spip.php?article10>
- https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89chelle_des_temps_g%C3%A9ologiques

Eon	Ere	Période	notation et couleur	Age absolu (Ma)	Evénements significatifs
PHANEROZOÏQUE	Quaternaire		Q (254/230/146)	0,01	Temps historiques
	CENOZOÏQUE	Néogène	N (255/232/0)	1,6	Glaciations
		Paléogène	E (253/154/82)	23,7	Apparition du genre Homo Premiers grands Singes (Proconsul)
	MESOZOÏQUE	Crétacé	K (197/229/71)	66,4	Premières Graminées Diversification des Mammifères Grande vague d'extinction des organismes terrestres aquatiques; premiers Primates
		Jurassique	J (226/244/224)	144	Diversification des plantes à fleurs (Angiospermes) Plus anciens fossiles d'Oiseaux
		Trias	T (107/1/125)	208	Ouverture de l'océan Atlantique
	PALEOZOÏQUE	Permien	P (240/64/40)	245	Plus anciens Mammifères connus Apparition des Dinosaures
		Carbonifère	C (103/171/160)	286	Extinction massive des plus grands groupes d'organismes marins
		Dévonien	D (203/140/55)	320	Fermeture de l'océan lapetus Plus anciens insectes ailés connus
		Silurien	S (179/226/208)	360	Premiers Reptiles Derniers Graptolites
		Ordovicien	O (0/146/112)	408	Premières plantes à graines (Gymnospermes)
		Cambrien	Ca (64/133/33)	438	Apparition des premiers tétrapodes (Amphibiens)
				505	Premiers Poissons osseux de type moderne Plus anciens Poissons à poumons
				570	Apparition des plantes vasculaires terrestres Plus anciennes traces de poissons à mâchoires
PRECAMBRIEN	Protero- zoïque	Néopr. Mésopr. Paléopr.	PR (251/154/148)	1000	Apparition des Invertébrés à squelette minéralisé
	Archéen		AR (240/2/127)	1600	Ouverture de l'océan lapétus
				2500	Les Laurentides sont complètement fermées Apogée des Algues
				3000	Apparition des bactéries ne pouvant se développer qu'avec la présence d'air ou d'oxygène
				3400	Plus ancienne trace de micro-organismes
				4000	Plus anciennes Algues connues La plus ancienne roche datée

