

A inscrire sur votre cours :

Thème 3 <> La Terre, un astre singulier

Chapitre 2 <> Histoire de l'âge de la Terre

Introduction : L'étude de la Terre a suscité l'intérêt de l'espèce humaine, notamment la détermination de son âge. Mais déterminer son âge a été un travail de longue haleine et a souvent été sujet à controverse.

Problématique générale : Comment-a-t-on déterminer l'âge de la Terre ?

travail à faire pour le premier avril (et non ce n'est pas une blague) : faire l'activité ci-après ; c'est une activité dense, à faire sur les deux séances de cours. Ce travail est à rendre (mais non noté). Vous pouvez faire des travaux de groupe.

1ère Tronc commun	ACT.	Thème 3/Chapitre 2 : La Terre, un astre singulier	
		Retracer l'histoire de l'âge de la Terre	
Capacité(s) travaillée(s) en lien avec le programme :			Durée : 110 min
Interpréter des documents présentant des arguments historiques utilisés pour comprendre l'âge de la Terre.			
Identifier diverses théories impliquées dans la controverse scientifique de l'âge de la Terre.			

Situation déclenchante : Aristote (-384 à -322) a une conception philosophique le l'âge de la Terre : la Terre a toujours existé, elle n'a pas d'âge. A la renaissance la Bible est un outil de datation, James Ussher propose un âge de 4004 ans avant JC. Aujourd'hui la Terre est datée de 4.57 milliards d'années. <https://www.youtube.com/watch?v=F3NxDFLPNy4>

Situation problème : Comment notre planète a-t-elle pu vieillir de plus de 4 milliards d'années en 400 ans ?

Consigne

A partir des ressources disponibles, retracez sous la forme d'un texte accompagnée de résultats expérimentaux et d'un frise chronologique l'histoire de la détermination de l'âge de la Terre. Pour ce faire :

1. Présentez les arguments et outils utilisés par les scientifiques
2. Réaliser les modélisations mathématiques correspondant aux ressources 1 à 3 dans Excel,

faire vérifier vos résultats

3. Discutez des résultats obtenus en les comparant entre eux ou avec d'autres résultats tirés de vos connaissances
4. Réalisez la frise chronologique

Ressource 1 Une première estimation de la âge de la Terre par BUFFON



Georges Louis Leclerc, comte de Buffon



Les forges de Buffon à Montbard (21)

En 1774, Buffon cherche à déterminer l'âge de la Terre de manière expérimentale. Pour cela il pose les jalons d'une véritable démarche scientifique :

- 1 – il énonce un problème
- 2 – il émet une hypothèse
- 3 – il conçoit un protocole expérimental permettant de tester cette hypothèse
- 4 – il associe expérimentation et observations pour aboutir à des résultats
- 5 – il interprète les résultats et conclut sur la validité de son hypothèse de départ

Hypothèse de Buffon

De nombreux témoignages attestent que la température est plus élevée dans les mines. Cette augmentation de la température liée à la profondeur conduit de nombreux hommes de sciences à penser que la Terre est un globe constitué de matériel en fusion, se refroidissant par la surface par conduction (transfert de chaleur sans déplacement de matière). C'est donc en partant de cette hypothèse que Buffon extrapole les résultats obtenus avec des boulets de canon au cas de la Terre dont la circonférence est connue depuis Eratosthène (III^{ème} siècle avant JC) soit 941 461 920 demi-pouces.

Protocole expérimental de Buffon

Buffon chauffe des boulets de canon à blanc puis il a : « cherché à saisir [...] l'instant où les boulets se sont trouvés refroidis jusqu'au point de la température actuelle, c'est-à-dire 10°C au-dessus de la congélation. [...] »

Résultats de Buffon

Diamètre des sphères en ½ pouces	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Temps de refroidissement expérimental en min	39	93	145	196	248	308	356	415	466	522

Grâce au tableur Excel, construire le graphique donnant l'évolution de la durée de refroidissement en fonction du diamètre (nuage de points) puis afficher la courbe de tendance linéaire et afficher l'équation de la droite. Déterminer ensuite par extrapolation l'âge de la Terre.

Ressource 2 : Deuxième estimation de l'âge de la Terre par Kelvin



William Thomson (1897) plus connu sous le nom de lord Kelvin reprend l'hypothèse de Buffon : il cherche également à estimer le temps de refroidissement de la Terre mais en étudiant d'un peu plus près les lois physiques qui décrivent la diffusion de la chaleur au sein des roches.

Pour se faire une idée des lois physiques en jeu :

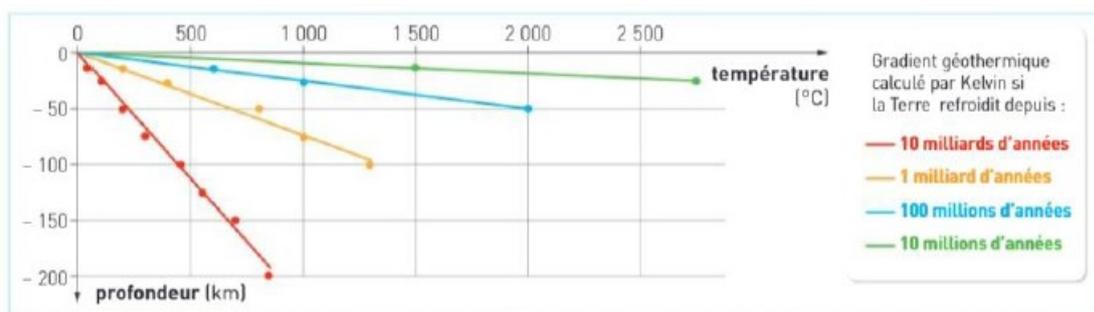
Imaginez que vous sortiez une dinde de Noël brûlante du four et que vous la placiez immédiatement au congélateur (un congélateur parfait, capable d'extraire la chaleur instantanément et qui reste toujours à sa température de réglage). Initialement, la dinde serait partout à la même température (à supposer que vous l'ayez rôtie assez longtemps). Seule une mince couche superficielle se retrouverait tout de suite à la température du congélateur. Mais rapidement, les couches externes de la dinde se refroidiraient à mesure que la chaleur diffuse vers l'extérieur, bien que le centre se maintienne à sa température initiale, identique à celle du four. À la fin, bien sûr, tout finirait par se refroidir, y compris le cœur de la farce ; en d'autres termes, la température à l'intérieur de la dinde dépend à la fois de la distance à la surface et **du temps écoulé depuis que la volaille a été placée dans le congélateur.**

D'après Pour la science n°364

L'équation de chaleur

Il est difficile d'expliquer simplement la formule mathématique (équation de Fourier), mais il est en tout cas possible de bien comprendre la démarche entreprise par Kelvin. Si la Terre était à l'origine une boule de roches en fusion, donc à 3.900° , sa surface s'est rapidement refroidie aux alentours de 20° (température favorable à la vie). En revanche, au cœur de la Terre, la température est la même qu'à l'origine. C'est un « gradient de température » que l'on a alors de la surface vers le cœur. Donc plus on s'enfonce sous Terre, plus cela se réchauffe. Aux origines, sous Terre on passait très rapidement à la température élevée du cœur, mais ce gradient s'est refroidi au fil du temps, il faut davantage se rapprocher du cœur pour obtenir les 3.900° . Lord Kelvin va donc utiliser l'équation de chaleur afin de relier ce taux de refroidissement au temps.

Le graphique ci-dessous représente les gradients géothermiques calculés pour 4 âges différents de la Terre.



Déterminer le gradient géothermique (en $^{\circ}\text{C}/\text{Km}$) dans chacune des 4 situations.



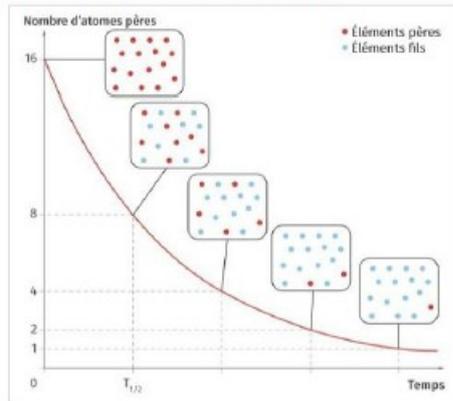
En 1906, Ernest Rutherford met au point une méthode de datation par mesure de la désintégration radioactive du radium. Il effectue les mesures sur des roches terrestres et obtient un âge de 497 Ma.



Clair Patterson en 1950 développe la datation sur l'Uranium-Plomb

Ressource 3 : Les apports de la radiochronologie par Rutherford et Patterson

Le principe de la datation par radiochronologie



Au cours du temps, les éléments pères se désintègrent : ils sont dits radioactifs. Les éléments fils formés par désintégration des éléments pères sont dits radiogéniques.

Le temps de demi-vie (ou période radioactive $T_{1/2}$) correspond à la durée écoulée lorsque la moitié de la quantité d'éléments pères est désintégrée. Le nombre d'atomes pères diminue selon une loi exponentielle :

$P = P_0 e^{-\lambda t}$ où P est le nombre d'atomes pères à l'instant t , P_0 le nombre d'atomes pères à l'instant initial, et λ une constante positive.

Remarque : on a dit que lors de la désintégration radioactive, les atomes pères libèrent de la chaleur en donnant des atomes fils.

Donner un âge absolu à la Terre

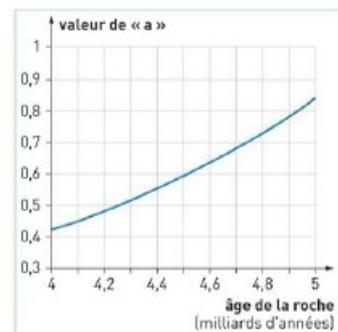
Clair Patterson comprend que les plus vieilles roches accessibles à la surface de la Terre ne peuvent fournir que l'âge de la croûte terrestre, en renouvellement permanent. Il va donc donner un âge à la Terre en utilisant des météorites, éléments du système solaire formés en même temps que la Terre.

On a mesuré deux rapports $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ et $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ dans différentes météorites.

Objets étudiés	Météorite Henbury, sidérite (Australie)	Météorite Canyon Diablo, sidérite (Arizona, USA)	Météorite Nuevo Laredo, achondrite (Nouveau Mexique, USA)	Météorite Forest City, chondrite (Iowa, USA)	Météorite Modoc, chondrite (Kansas, USA)
$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	9,55	9,46	50,28	19,27	19,48
$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	10,38	10,34	34,86	15,95	15,76

Pour connaître l'âge de ces météorites et donc de la Terre il faut :

- Tracer dans Excel le graphique $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = f(^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})$, afficher la courbe de tendance linéaire et l'équation de cette droite qui est de la forme $y = ax + b$
- Relever le coefficient directeur a et déterminer graphiquement l'âge grâce au document ci-dessous. Plus l'âge est important plus le coefficient directeur est fort.



Ressource 4 : Les apports de la géologie pour déterminer l'âge de la Terre ou réfuter d'anciennes datations

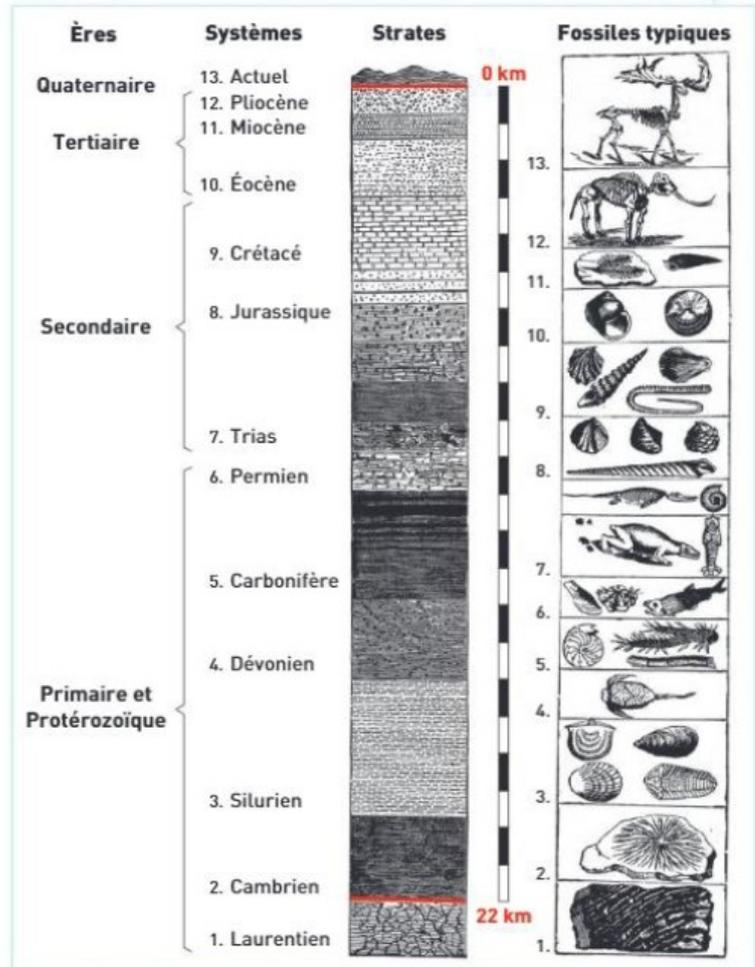


Charles Lyell, ami proche de Darwin, est le premier en 1830 à avoir l'idée d'identifier les strates sédimentaires en fonction de leur contenu en fossiles, et à les nommer.

Ce travail a été réalisé pour des formations sédimentaires en Grande Bretagne (voir document ci-dessous). Par ailleurs de nombreux autres géologues ont mesuré les vitesses de dépôt de sédiments afin d'estimer l'âge des strates sédimentaires. Ces vitesses de sédimentation varient de 1.9 à 22.9 centimètres par millier d'années . On considère que les mécanismes sédimentaires actuels sont applicables au passé = principe d'actualisme.

Calculer les durées de mise en place des formations sédimentaires de Grande-Bretagne à partir des vitesses de sédimentation proposées, cela permet de donner un âge minimum à la Terre.

Des études de radiochronologie sur les roches terrestres nous donne les résultats suivants :



DOC

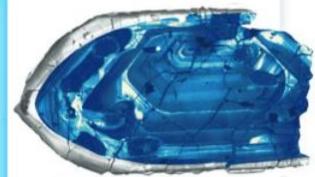
4

Les plus vieilles roches formées sur Terre

Les roches continentales sont soumises à l'érosion, ce qui laisse peu de chances de découvrir des roches s'étant formées en même temps que la Terre. Les recherches se portent au niveau des cratons, des régions continentales reconnues comme étant très stables et relativement préservées par l'érosion.

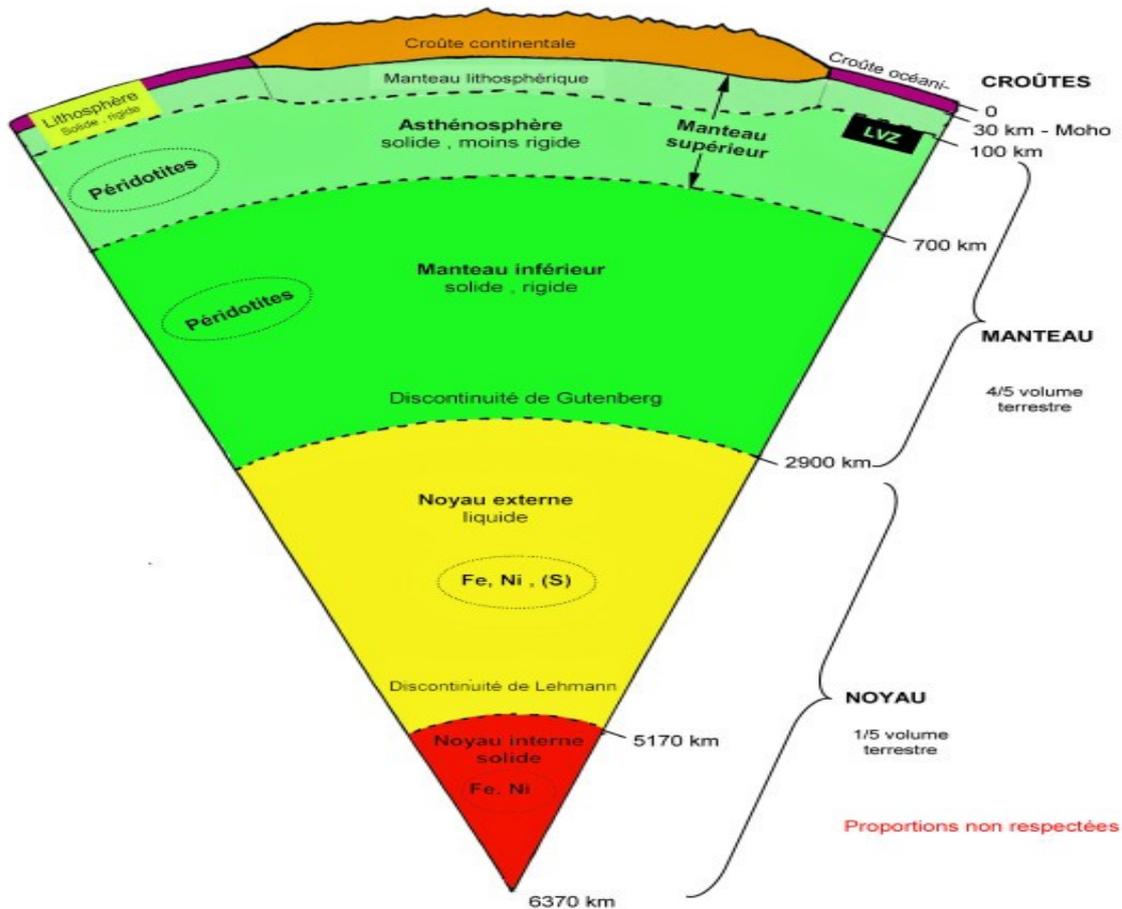


Ce zircon, découvert dans la région des Jack Hills, est âgé de 4,4 Ga.



■ Répartition géographique des plus anciennes roches terrestres connues.

De même, des études complémentaires (géochimique, sismiques, gravimétrique...) sur la composition chimique de la Terre, et de ses différentes enveloppes nous permettent de présenter quelques limites au modèle de Buffon et de Kelvin. La composition chimique de la Terre est donnée par cette illustration :

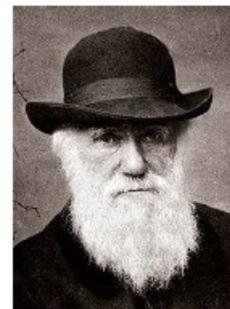


Il a été également démontré que l'évacuation de la chaleur sur Terre se fait par conduction mais aussi par convection (transfert de chaleur avec déplacement de matière)

Ressource 5 : L'apport des biologistes pour déterminer l'âge de la Terre



Lamarck (1744-1829)



Darwin (1809-1882)

La découverte de nombreux fossiles va obliger les scientifiques à s'interroger sur la disparition des espèces et à contredire les interprétations littérales de la Bible.

Jean-Baptiste de Lamarck défend la théorie transformiste : il voit dans les fossiles de mollusques qu'il étudie, les traces d'une lente transformation expliquant l'extinction et l'émergence des espèces. Charles Darwin théorise l'évolution des espèces sur les bases posées par Lamarck : les espèces actuelles sont le fruit d'une lente évolution d'espèces ancestrales, dont le mécanisme est la sélection naturelle. Pour que des variations minimales à l'échelle d'une génération puissent peu à peu donner naissance à une nouvelle espèce, il est nécessaire que les temps géologiques soient extrêmement grands. Darwin propose un âge d'au moins 300 Ma.

Ressource 6 : Conseils pour effectuer votre frise chronologique :

La frise peut être faite à la main mais l'utilisation d'un outil numérique tel que celui-ci sera valorisée :

<http://www.frisechronos.fr/DojoMain.htm>

- Se limiter à la période comprise entre 1750 et 1970

- Placer les découvertes successives concernant l'âge de la Terre en faisant apparaître :

o Les scientifiques suivants : Rutherford, Lyell, Paterson, Kelvin, Darwin et Buffon avec leur portrait c'est mieux

o L'âge proposé pour la Terre par chacun de ces scientifiques

o La nature des arguments : physiques, biologiques ou géologiques utilisés et les contre-arguments