

Objectifs :

-) 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.

Une des questions qui a préoccupé l'Homme depuis qu'il a commencé à explorer son Univers, c'est l'âge de la Terre. Pour les savants de l'Antiquité les océans et continents ont toujours occupé une position fixe durant toute l'histoire de la planète. La Terre se serait ainsi formée par une série de grandes catastrophes rapides et elle aurait acquis la physionomie qu'on lui connaît aujourd'hui : océans, continents, volcans, lacs et montagnes auraient été dessinés une fois pour toute.



La Bible a repris le relais de cette conception avec l'idée de la Création en 6 jours. En 1654, l'ecclésiastique anglais James Ussher (1581-1656) établit, par le décompte des générations de la Bible, que la Terre a été créée en 4004 av. J.C. (6000 ans en y additionnant nos deux millénaires). Son titre d'archevêque lui confère une telle autorité que cet âge s'impose comme seule vérité (dogme religieux). Pourtant, dès le début du XVI^e siècle, Léonard de Vinci, par l'observation des fossiles avait exclu la formation de la Terre sous l'influence de forces célestes.

Au XIX^e siècle, bien que l'idée d'un âge supérieur à celui donné par la bible soit largement acceptée, la question de l'âge de la Terre constitue un sujet de controverses scientifiques entre les physiciens d'un côté et biologistes/géologues de l'autre.

**COMMENT ONT EVOLUE LES ESTIMATIONS DE L'ÂGE DE LA TERRE ENTRE LE XVI^e
SIECLE ET AUJOURD'HUI ?**

**QUELS DEVELOPPEMENTS DES CONNAISSANCES ET DES TECHNIQUES ONT PERMIS UNE
AMELIORATION DES ESTIMATIONS DE L'ÂGE DE LA TERRE ?**

A l'aide des ressources et des documents répondez aux questions ci-après en n'oubliant pas que votre production est destinée à des élèves du niveau seconde.

1-) James Ussher et Buffon proposent tous les deux un âge de la Terre à partir de deux démarches différentes. Après avoir présenté les deux démarches, vous préciserez ce qui les distingue.

2-) Au XIX^e siècle, la question de l'âge de la Terre agite la communauté scientifique et est un sujet de controverses scientifiques entre les physiciens menés par le très célèbre Lord Kelvin et les géologues et biologistes comme Lyell et Darwin.

Vous incarnez un géologue ou un biologiste du XIX^e siècle et vous devez convaincre un physicien de votre époque que son estimation de l'âge de la Terre semble erronée.

3-) Précisez les différentes étapes de la méthode utilisée par Clair Patterson pour dater la formation de la Terre. Justifiez l'intérêt d'utiliser des météorites pour déterminer l'âge de la Terre.

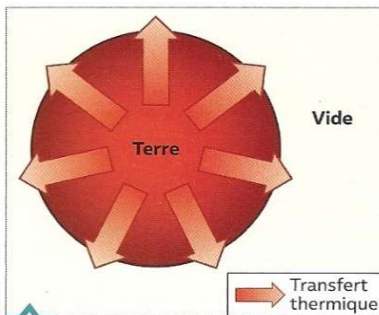
Document 1 : Selon Buffon.



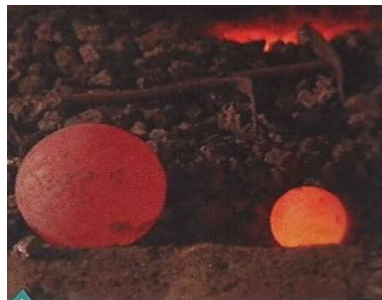
1a. Georges-Louis Leclerc, comte de Buffon (1707-1788)

Buffon, naturaliste et mathématicien français, est le premier à proposer un âge pour la Terre par l'expérimentation. Vers 1770, il part du constat que la température augmente en profondeur (d'après les témoignages de mineurs) pour émettre l'hypothèse que la Terre était à l'origine une boule de roches en fusion, qui refroidit par l'extérieur depuis sa formation. Il élabore alors un protocole rigoureux à partir d'une publication de Newton sur la propagation de la chaleur : en chauffant à blanc dans ses forges de Bourgogne, des boulets de différentes tailles et en mesurant la durée de refroidissement. Il parvient à établir un modèle qu'il extrapole à une sphère de la taille de la Terre dont la circonférence est connue depuis Eratosthène (III^e siècle av. J.C.).

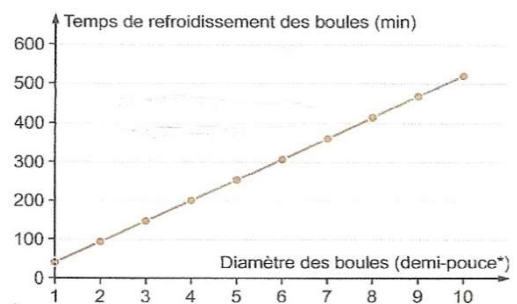
1b. La méthode expérimentale de Buffon



1c. Principe de base de Buffon



1d. Boulets de canon chauffés

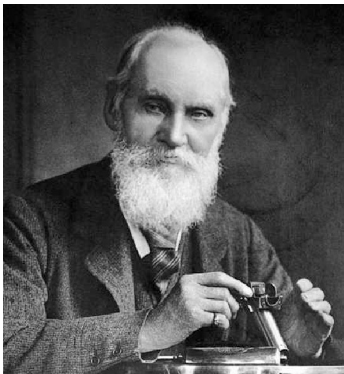


1e. Résultats de Buffon (1/2 pouce = 1,27 cm)

« Maintenant, si l'on voulait chercher [...] combien il faudrait de temps à un globe gros comme la Terre pour se refroidir, on trouverait, d'après les expériences précédentes, [...] quatre-vingt-seize mille six cent soixante-dix ans et cent trente-deux jours pour la refroidir à la température actuelle. »

1.f. Extrait de l'Histoire naturelle, générale et particulière, Buffon, 1774.

Document 2 : Selon Lord Kelvin.



2a. William Thomson
(1824-1907), **lord Kelvin**

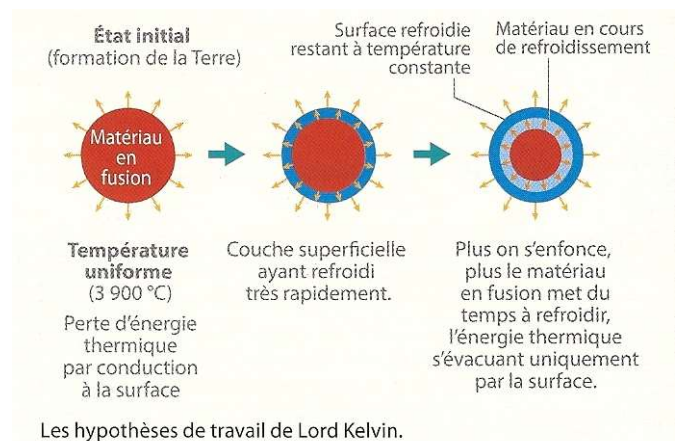
Un siècle après Buffon, Lord Kelvin, physicien britannique d'origine irlandaise, pense comme lui que la Terre se refroidit depuis son origine. Il reprend la même méthode mais dispose d'un outil mathématique plus perfectionné : l'équation de la chaleur de Fourier, qui permet de prendre en compte l'évolution du gradient de température (le refroidissement de la Terre n'est pas uniforme : il est de plus en plus lent avec la profondeur).

La méthode de calcul de Kelvin ne peut s'appliquer qu'à une Terre rigide, qui ne refroidit que par conduction, c'est-à-dire de proche en proche, sans déplacement de matière. Kelvin affinera progressivement sa datation, pour aboutir en 1863 à un âge de la Terre compris entre 20 et 400 millions d'années.

Cet âge considérable est cependant bien accueilli par les physiciens d'autant que Kelvin est le physicien le plus renommé de son temps, et qu'il utilise l'équation de Fourier qui fait autorité dans le milieu scientifique. Avec une durée différente de celle avancée par les géologues à la même époque, il déclenche alors l'une des plus célèbres controverses scientifiques. Darwin, Hutton et Lyell avaient en effet proposé des âges beaucoup plus vieux mais peu précis.

2b. La modélisation mathématique de Kelvin

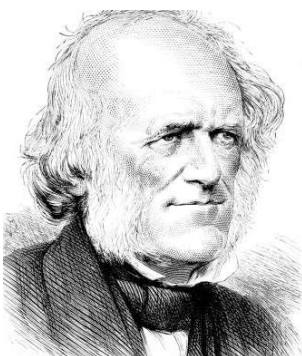
En 1863, lord Kelvin applique la théorie de Fourier au calcul de l'âge de la Terre : il fait l'hypothèse que la Terre se refroidit depuis sa formation sans nouvelle source d'énergie intérieure et que la conduction est le seul mode de transfert thermique d'énergie à l'intérieur de la Terre. Il trouve ainsi un âge compris entre 20 et 400 millions d'années.



Dans le cas des fluides et des matériaux ductiles, le transfert thermique d'énergie s'accompagne d'un mouvement de matière. Ce mode de transfert thermique beaucoup plus efficace que la conduction, se nomme convection. Dès 1895, John Perry (1850-1920), ingénieur britannique est disciple de Kelvin, fait l'hypothèse que l'énergie intérieure de la Terre est transportée par convection à l'intérieur des couches terrestres profondes.

2d. La convection, un mode de transfert de chaleur efficace

Document 3 : Selon Lyell.



3a. Sir Charles Lyell
(1797-1875)

Charles Lyell, géologue britannique, élève de James Hutton est un partisan de la théorie dite de l'uniformitarisme. Il considère que « le présent est la clé du passé » : selon ce principe, l'explication du passé de la Terre réside dans l'étude des phénomènes géologiques actuels. Lyell estime ainsi que l'âge de la Terre est largement plus ancien que les âges avancés par les défenseurs de la chronologie biblique, par Buffon ou encore par Kelvin.

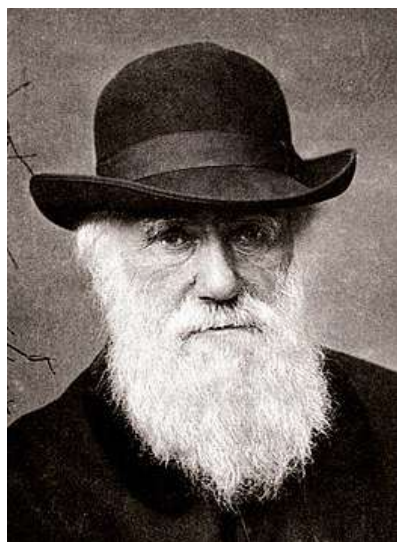
Lyell propose des cycles géologiques perpétuels. Il est suivi par de nombreux géologues qui considèrent que, si un cycle géologique dure une dizaine de millions d'années, il faut envisager des centaines de millions d'années voire des milliards d'années, pour leur durée totale.

3b. Des observations s'opposant aux calculs de Lord Kelvin

A la fin du XIX^e siècle, l'âge de la Terre va être estimé par mesure de l'épaisseur des strates de sédiments, en utilisant la proportionnalité : s'il faut 100 ans pour qu'un millimètre de sédiments se dépose, alors il faut 100 000 ans pour former une couche d'un mètre. Cette méthode est discutable, car les sédiments ne se déposent pas de manière homogène dans le temps ni dans l'espace. Dans ce contexte, les premières datations vont de quelques millions à quelques milliards d'années, et opposent les partisans d'un temps court (théorie du catastrophisme) et les partisans d'un temps long (théorie de l'uniformitarisme).

3c. Les apports de la stratigraphie

Document 4 : Selon Darwin



4a. Charles Darwin (1809-1882)

Charles Darwin, naturaliste et paléontologue anglais, développe au cours de ses expéditions une théorie selon laquelle les espèces vivantes ne sont pas immuables : elles peuvent disparaître, se diversifier, etc. Les espèces actuelles sont donc le fruit d'une lente évolution d'espèces ancestrales, dont le mécanisme est la sélection naturelle. C'est la théorie de l'évolution. Afin d'expliquer la diversité du vivant, cette théorie nécessite des temps très longs, de l'ordre du milliard d'années. Toutefois, Darwin n'a aucun moyen de chiffrer ces temps longs.

Pour Darwin et les autres scientifiques évolutionnistes du XIX^e siècle, les espèces se forment les unes à partir des autres par accumulation de petits changements, à une vitesse imperceptible à l'échelle humaine. Cette conception de la vie n'est donc vraisemblable que si la Terre est très ancienne. Or pour les physiciens de cette époque, la Terre n'aurait que quelques dizaines de millions d'années ... Une durée incompatible avec la théorie darwinienne ! Les débats entre partisans de Darwin et partisans de Kelvin sont très virulents, mais faute de preuves irréfutables, aucun des deux camps ne sort vainqueur.

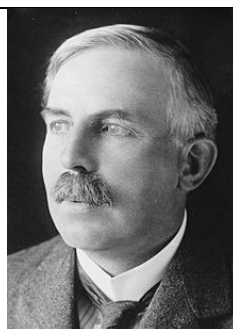
4b. L'émergence de la notion d'évolution des espèces

Document 5 :

La découverte de la radioactivité par Becquerel en 1896 amène de nombreuses remises en question.

D'une part, certaines désintégrations radioactives s'accompagnent d'un fort dégagement de chaleur, remettant en cause les sources d'énergie de l'intérieur de la Terre et leur dissipation (qui se fait également par convection).

D'autre part, plusieurs méthodes de datation isotopiques sont établies. Au début du XX^e siècle, Rutherford calcule un âge de la Terre de 497 millions d'années grâce à l'étude de la libération d'hélium lors de la désintégration radioactive.



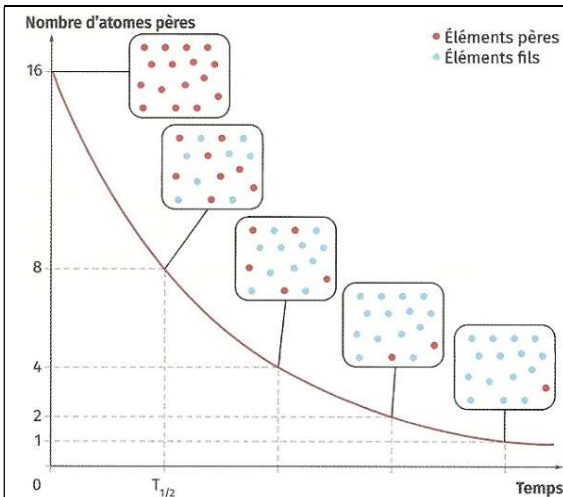
Ernest Rutherford
(1871-1937)



Clair Patterson
(1922-1995)

Il faut attendre 1953 et les recherches du géochimiste américain Clair Patterson avec la méthode de datation « plomb-plomb » sur des météorites pour avoir un âge de 4,55 Ga +/- 70Ma : première estimation correcte de l'âge de la Terre. En 2012 l'incertitude sera réduite à 4,57 Ga +/- 20 Ma.

5a : Les apports de la radioactivité



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.

La désintégration de tout élément radioactif se fait suivant une loi mathématique immuable de décroissance exponentielle en fonction du temps : quel que soit la quantité d'éléments père présente au départ, il faut toujours le même temps pour que cette quantité soit réduite de moitié par désintégration radioactive. Cette durée caractéristique d'un élément est sa période radioactive (T) ou demi-vie.

5b : Evolution du nombre d'atomes au cours du temps, une horloge moléculaire

L'élément uranium possède deux isotopes radioactifs : l'uranium 235 et l'uranium 238. Chaque isotope se désintègre par étapes successives et est à l'origine de familles radioactives dont le dernier isotope stable est un isotope du plomb. Ainsi, ^{235}U donne ^{207}Pb et ^{238}U donne ^{206}Pb . Les périodes radioactives $T_{1/2}$ sont respectivement de 0,704 Ga et 4,468 Ga. Ces périodes longues en font des systèmes particulièrement bien adaptés à la datation d'objets géologiques très anciens.

En partant des équations de désintégration radioactive pour chacun de ces deux systèmes, on peut montrer que la valeur du rapport isotopique ($^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$) radiogénique donne une estimation directe du temps écoulé depuis la fermeture du système (moment où la roche datée n'échange plus de matière avec l'extérieur).

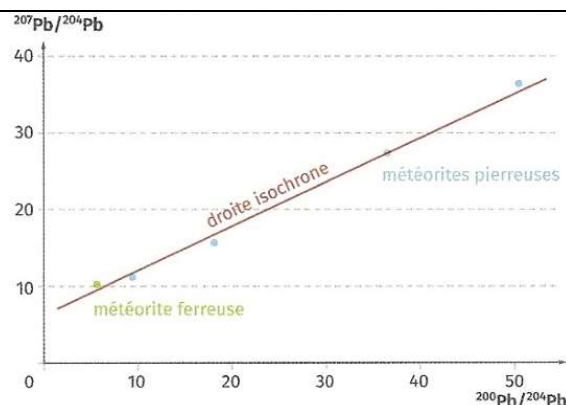
Pour dater un événement précis (comme la formation de la Terre), il faut comparer entre eux différents systèmes (roches). On va alors utiliser l'isotope 204 du plomb, stable, pour normaliser les quantités de ^{207}Pb et ^{206}Pb . Puisqu'il s'agit d'un isotope non radiogénique, sa quantité n'a pas varié depuis la fermeture du système n'a pas varié depuis la fermeture du système, il peut donc servir de référence.

5c : Les systèmes uranium-plomb (u-Pb) utilisés par Patterson pour une datation de la Terre

La Terre et les météorites ont été formées par l'agglomération des particules de la même nébuleuse (nébuleuse solaire), elles ont donc des compositions et des âges similaires. Deux types de météorites sont utilisés : des météorites ferreuses et des météorites pierreuses.

5.d : Météorite de fer

L'isochrone (d'iso : identique et chronos : temps) est une droite reliant les rapports isotopiques de roches d'âge identique. Le coefficient directeur de cette droite donne, après calcul, l'âge de l'ensemble des échantillons (ici, une météorite ferreuse et quatre météorites pierreuses). Patterson estime grâce à cette méthode un âge de formation de la terre égal à 4,55 ga.



5e : Courbe isochrone et détermination de l'âge de la Terre par Patterson en 1950