

Sommaire

<i>Introduction. Évolution de l'âge donné à la Terre au cours de l'Histoire. Documents 1 à 13 (sans les calculs).....</i>	<i>2</i>
<i>Travail commun en classe. Calculs de l'âge de la Terre suivant les méthodes de Buffon et Kelvin. Documents 5bis à 8.....</i>	<i>4</i>
<i>Travail 1. L'utilisation des sédiments pour déterminer l'âge de la Terre. Documents 14 à 20.</i>	<i>7</i>
<i>En commun. Évolution biologique et âge de la Terre. Documents 21 à 23.</i>	<i>9</i>
<i>Travail 2. Radioactivité et âge de la Terre. Documents 24 à 34.</i>	<i>10</i>
<i>Exercice supplémentaire.....</i>	<i>15</i>

Introduction. Évolution de l'âge donné à la Terre au cours de l'Histoire. Documents 1 à 13 (sans les calculs).

Piste d'exploitation sur les documents 1 à 13

- **Réaliser** une frise chronologique retraçant l'évolution de l'âge de la Terre. Y **indiquer** les noms et les périodes de vie des principaux protagonistes, l'âge proposé pour la Terre et **préciser** si l'approche est scientifique ou non scientifique.
- **Préciser** le contexte historique conduisant à la plupart de ces âges.

Document 1. Extrait du Traité du ciel (II-1) par le philosophe de la Grèce antique Aristote (384 -322 av. J.-C.).

D'après Enseignement scientifique première, Belin 2019

« On peut donc, d'après tout ce qui précède, voir clairement que l'ensemble du ciel n'a pas été créé, qu'il ne peut pas davantage périr, comme le disent quelques philosophes, mais qu'il est un et éternel, et qu'il n'a ni commencement ni fin, durant toute l'éternité. »



Document 2. À la Renaissance, la Bible comme outil de datation de la Terre.

D'après Enseignement scientifique première, Belin 2019

Au XVI^e et au XVII^e siècle, plusieurs estimations de l'âge de la Terre sont proposées sur la base d'un travail d'analyse de la Bible, dans lequel le monde est créé par Dieu en six jours (livre de la Genèse, I, 1-25). Ainsi, Alphonse de Vignole (1649-1744), directeur de l'Académie des sciences de Berlin, écrit :

« On croira peut-être qu'il y a de l'exagération en cela mais j'ai recueilli moi-même plus de deux cents calculs différents dont le plus court ne compte que 3 483 ans depuis la création du monde jusqu'à Jésus-Christ, et le plus long en compte 6 984. »

Chronologie de l'histoire sainte, 1734.

Ces estimations sont fondées à la fois sur un travail d'érudition (la Bible contient des points de repères chronologiques précis) et la prise en compte d'éléments de l'histoire profane variables d'un auteur à l'autre.

Document 3. Quelques dates proposées pour la création de la Terre.

D'après Enseignement scientifique première, Belin 2019 et <https://www.britannica.com> (consulté le 21/06/2022)

James Ussher (1581-1656)

- Archevêque anglo-irlandais de l'église anglicane.
- Date proposée : **23 octobre 4004 av. J.-C.**



Johannes Kepler (1571-1630)

- Astronome allemand qui a établi trois lois décrivant le mouvement des planètes autour du Soleil. Ces lois dites de Kepler sont aujourd'hui encore admises par la communauté scientifique.
- Date proposée : **3993 av. J.-C.**



Isaac Newton (1642-1727)

- Astronome, mathématicien et physicien anglais. Ses travaux ont notamment posé les bases de la mécanique classique, avec la loi de l'attraction universelle, aujourd'hui encore admise par la communauté scientifique. Les travaux de Newton ont également permis de perfectionner les télescopes.
- Date proposée : **3998 av. J.-C.**



Document 4. Des estimations à replacer dans leur contexte.

Interview de Vincent Delecroix, philosophe

D'après Enseignement scientifique première, Belin 2019

Au XVII^e siècle, le christianisme est marqué par l'émergence du déisme. Pour simplifier, ce courant de pensée voit Dieu comme un « grand architecte » à l'origine de la Création et de l'ordre de la nature, mais qui n'intervient pas dans les affaires des Hommes. Le déisme était très prégnant chez Newton. Ce dernier, ainsi que beaucoup de scientifiques de l'époque, avaient rompu avec les approches aristotéliennes de la science, mais leur démarche ne comportait rien d'anti-religieux. Ils voyaient la nature comme un livre portant une empreinte – celle d'un esprit supérieur rationnel – qu'ils tentaient de déchiffrer en mettant au jour des lois physiques. Dans cette perspective, le principe d'économie d'hypothèses, essentiel en science, ne s'opposait pas non plus au déisme. Il accréditait l'idée d'un dieu sage et rationnel, et devenait en quelque sorte un principe « d'économie de la création ».

Document 5. La démarche expérimentale de Buffon.

D'après Enseignement scientifique première, Bordas et Le Livre Scolaire 2019

Le mathématicien, biologiste et philosophe Georges Louis-Leclerc, comte de Buffon, rédige entre 1749 et 1789 *L'Histoire naturelle*, une vaste encyclopédie où il expose ses idées sur l'histoire de la Terre. Partant de l'hypothèse que la Terre a d'abord été une sphère de matière en fusion qui a refroidi, il effectue de nombreuses expériences afin d'en estimer l'âge.

Dans une expérience devenue célèbre, il chauffe au rouge dix boulets de tailles différentes. Buffon, qui ne dispose pas de thermomètre adéquat, note ensuite la durée nécessaire pour que les boulets incandescents puissent de nouveau être touchés sans se brûler.

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



Document 5 bis. La démarche expérimentale de Buffon.

D'après Enseignement scientifique première, Bordas et Le Livre Scolaire 2019

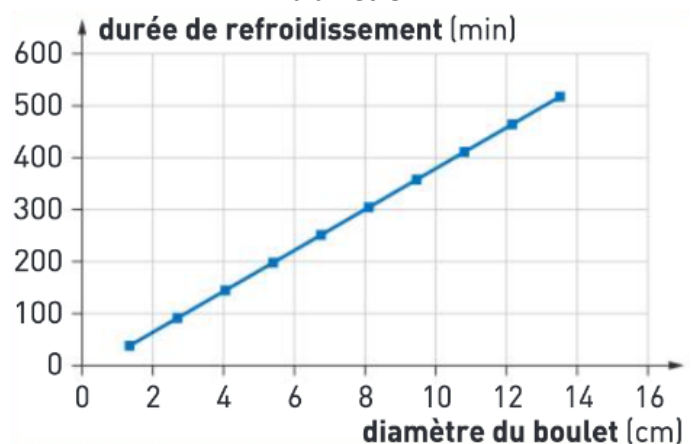


Buffon observe que plus le boulet est de grand diamètre, plus son refroidissement est lent. Sur le graphique ci-contre issu des résultats de Buffon, les points de mesure s'alignent selon une droite. L'équation de la droite est de la forme $Y = aX + b$, où Y représente la durée de refroidissement du boulet, et X son diamètre. Le coefficient directeur de la droite vaut :

$$a = \frac{(Y_B - Y_A)}{(X_B - X_A)}$$

A et B étant deux points appartenant à la droite.

Durée de refroidissement d'un boulet en fonction de son diamètre.



Buffon extrapole ensuite ses résultats au globe terrestre. Sachant que le diamètre de la Terre est de 12 748 km, il écrit :

« 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. »

Extrait de *L'Histoire naturelle, générale et particulière*, Buffon, 1774.

Pistes d'exploitation pour le travail en commun

- **Réaliser** un résumé de la méthode de Buffon.
- **Justifier** l'âge de la Terre obtenu par Buffon.

Document 6. La modélisation mathématique de Kelvin.

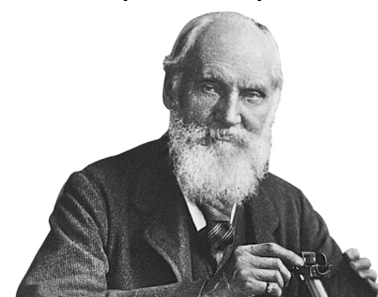
D'après Enseignement scientifique première, Bordas 2019

William Thomson (1824-1907), qui deviendra 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.

En effet, par des observations dans les mines, on sait que la température augmente de 3°C tous les 100 mètres au fur et à mesure que l'on s'enfonce sous la surface ; ce taux est appelé gradient géothermique*. Kelvin considère que ce gradient devait être plus élevé quand la Terre était plus âgée, et qu'il a donc diminué au cours du temps pour atteindre sa valeur actuelle.

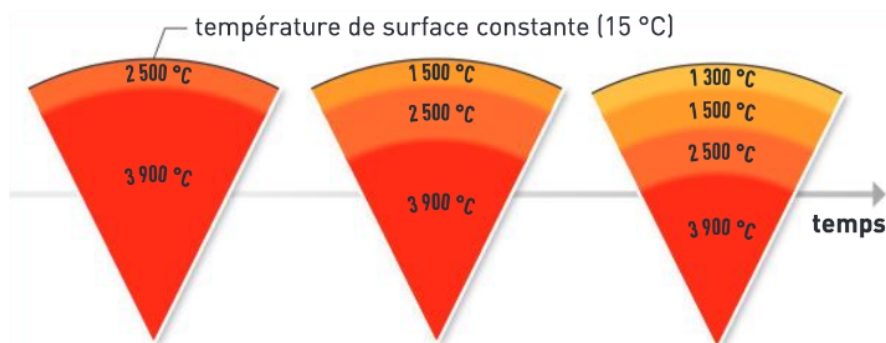
* *Gradient géothermique* : évolution de la température avec la profondeur (en général, en °C.km⁻¹).

**William Thomson, Lord Kelvin
(1824-1907).**



Document 7. Représentation simplifiée du modèle de Kelvin.

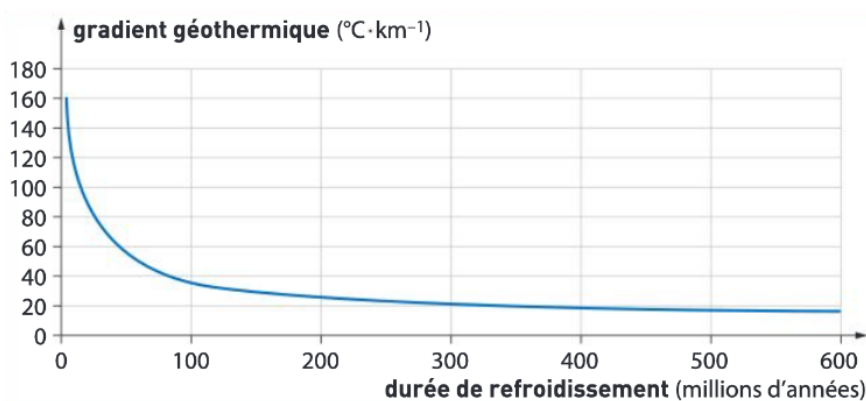
D'après Enseignement scientifique première, Bordas 2019



Il établit alors un modèle mathématique pour décrire la diminution du gradient géothermique en fonction du temps. Dans ce modèle, la sphère terrestre se trouve initialement à 3 900°C. La surface refroidit rapidement jusqu'à une température de 15°C, puis reste à une température constante.

Document 8. Évolution du gradient géothermique théorique d'une sphère de température initiale 3 900°C en fonction du temps.

D'après Enseignement scientifique première, Bordas 2019



Pistes d'exploitation pour le travail en commun

- **Réaliser** un résumé de la méthode de Kelvin.
- **Estimer** l'âge de la Terre selon l'approche de Kelvin.

Document 9. La méthode expérimentale de Buffon.

D'après Enseignement scientifique première, Le Livre Scolaire 2019

Buffon est le premier à expérimenter afin de proposer un âge pour la Terre. Vers 1770, il part du constat que la température augmente en profondeur (d'après l'observation de mines) pour émettre l'hypothèse que la Terre était à l'origine une boule de roches en fusion, qui refroidit sans cesse 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 leur refroidissement, il parvient à établir un modèle qu'il extrapole à une sphère de la taille de la Terre.

Document 10. Buffon face à la pression des théologiens.

D'après Enseignement scientifique première, Le Livre Scolaire 2019

Dans une première publication, *Les Époques de la nature*, en 1779, Buffon annonce ainsi que la Terre doit avoir 25 000 ans, un âge bien plus important que celui admis alors par l'Église. La hardiesse de la pensée de Buffon, pour l'époque, confine à la témérité. D'ailleurs, à la sortie de son ouvrage, Buffon écrit de Paris à un ami : « Je mets donc pour le moment présent mon salut dans la fuite et je pars dimanche pour arriver à Montbard » (son fief de Bourgogne). Après quelque temps et quelques

lettres d'excuses aux instances ecclésiastiques, il put revenir sur Paris. Mais il continue ses travaux et publie successivement 50 000 puis 75 000 ans. Mêmes motifs, mêmes punitions, exils en Bourgogne !

Les carnets de Buffon révèlent quant à eux que ses expériences donnent à la Terre plus de 10 millions d'années. Buffon n'a jamais publié ce chiffre, est-ce encore la pression sociale et morale qui l'a contraint à cette « discrétion » ? [...] S'il s'en tient finalement à une chronologie officielle plus courte, il ne peut s'empêcher d'en expliquer la cause en ces termes : « néanmoins il faut raccourcir autant qu'il est possible pour se conformer à la puissance limitée de notre intelligence. »

Patrick De Wever, « Buffon et la première approche expérimentale de la mesure du temps », Futura-sciences.com, septembre 2015.

Document 11. Améliorations apportées par Kelvin à partir de l'hypothèse de Buffon.

Un siècle après Buffon, Lord Kelvin (1824-1907) 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 (voir **document 12**), qui permet de prendre en compte l'évolution du gradient de température (le refroidissement étant de plus en plus lent avec la profondeur). La méthode de calcul de Kelvin ne peut s'appliquer qu'à une Terre rigide, sans mouvement de convection interne (voir **document 13**). Kelvin affinera progressivement sa datation, pour aboutir en 1863 à une fourchette de 20 à 400 millions d'années. Cet âge considérable est cependant bien accueilli par les physiciens : depuis un siècle, les progrès des géologues ont contribué à installer l'idée d'une Terre bien plus âgée qu'on ne le pensait autrefois. 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.

Seuls les géologues et les biologistes, dont les théories établissent un âge de la Terre bien plus important, s'opposent à Kelvin. On sait aujourd'hui que la chaleur interne de la Terre est également la conséquence de la désintégration d'éléments radioactifs internes qui s'accompagne d'un dégagement de chaleur.

Document 12. La théorie analytique de la chaleur de Joseph Fourier.

D'après Enseignement scientifique première, Nathan 2019

En 1822, le mathématicien français Joseph Fourier (1768-1830) établit la théorie décrivant le transport thermique d'énergie dans les solides. Ce transport s'effectue par conduction, c'est-à-dire de proche en proche, sans déplacement de matière. L'évolution de la température est alors fixée par la diffusivité du matériau et sa surface : $D = \frac{\lambda}{\rho c}$

Document 13. La convection, un mode de transfert de chaleur efficace.

D'après Enseignement scientifique première, Nathan 2019

Dans le cas des fluides et des matériaux ductiles, le transport 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 et disciple de Kelvin, fait l'hypothèse que l'énergie intérieure de la Terre est transportée par convection à l'intérieur des couches terrestres profondes.

Travail 1. L'utilisation des sédiments pour déterminer l'âge de la Terre. Documents 14 à 20.

Document 14. Les débuts de la stratigraphie comme méthode de datation de l'âge de la Terre.

D'après Enseignement scientifique première, Le Livre Scolaire 2019



Georges-Louis Leclerc, comte de Buffon (1707-1788), s'intéressa aux temps de sédimentation. Impressionné par l'épaisseur des couches sédimentaires des Alpes et la lenteur des dépôts formés par les océans, il aboutit à un âge de la Terre allant de quelques millions d'années à près de trois milliards. Prudemment, il ne publia pas ces résultats, préférant « être plat que pendu ».

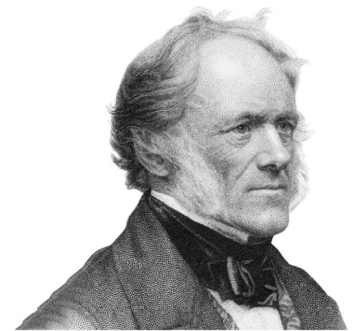
Hubert Krivine, « Histoire de l'âge de la Terre », *Images de la physique*, n°44, CNRS, 2011.

Document 15. Sir Charles Lyell. Géologue britannique (1797-1875).

D'après Enseignement scientifique première, Nathan 2019

Partisan de la théorie dite de l'uniformitarisme (aussi appelée « actualisme »), Lyell considère que « le présent est la clé du passé » (*Principles of Geology* [*Principes de géologie*], 1830-1833) : 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 ou par Buffon.

À la fin du XIX^e siècle, des géologues utilisent l'étude de dépôts sédimentaires (= la stratigraphie), notamment la vitesse de sédimentation pour évaluer l'âge de la Terre. En considérant que les sédiments se déposent à un rythme compris entre 1 mm et 1 cm par an, ces scientifiques estiment un âge de la Terre d'environ 3 milliards d'années.



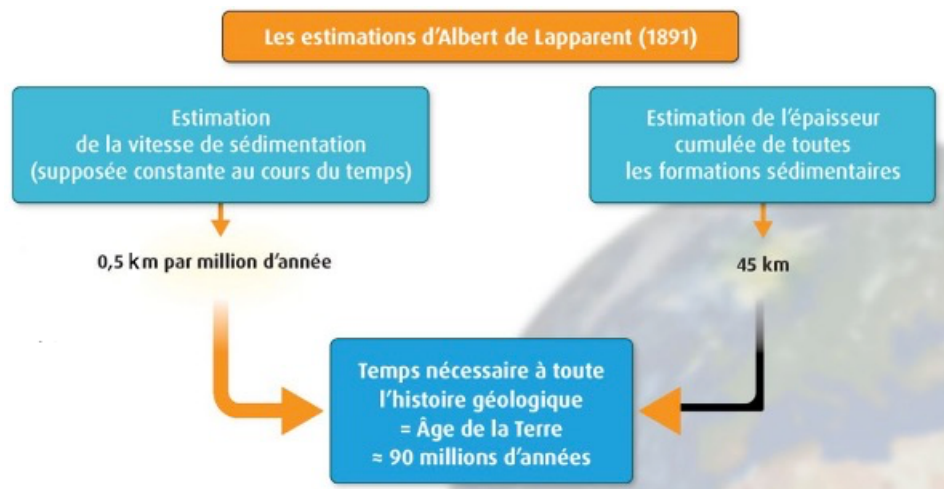
Document 16. Les approches fondées sur l'étude des dépôts sédimentaires.

D'après Enseignement scientifique première, Belin 2019

À la fin du XIX^e siècle, plusieurs géologues ont utilisé des raisonnements de ce type pour fournir une estimation de l'âge de la Terre.

Document 17. Données prises en compte par Albert de Lapparent :

D'après Enseignement scientifique première, Belin 2019 (modifié 2023)



Pistes d'exploitation

- **Définir** la « stratigraphie », puis **préciser** quelles nouvelles informations permettent de donner un âge à la Terre.
- **Réaliser** le calcul d'âge proposé par Lapparent pour l'âge de la Terre.

Document 18. Données prises en compte par d'autres géologues pour leur estimation.

D'après Enseignement scientifique première, Belin 2019

Auteur	John Phillips	Archibald Geikie	Warren Upham	William Sollas	
Date	1860	1892	1893	1900	1909
Épaisseur cumulée des formations sédimentaires (km)	22	30	80	81	102
Vitesse de sédimentation (en kilomètres par million d'années)	0,23	0,4	0,8	3,1	1,27

* Les taux de sédimentation sont supposés constants.

Document 19. La méthode stratigraphique.

D'après Enseignement scientifique première, Le Livre Scolaire 2019

Exemple de strates sédimentaires.

D'après www.aquaportail.com (consulté le 26/06/23)



À partir de la fin du XVII^e siècle, l'étude des dépôts sédimentaires, appelée stratigraphie, prend son essor. 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 (les catastrophistes) et les partisans d'un temps long (les uniformitaristes).

Pistes d'exploitation

- **Expliquer** et critiquer la méthode.
- **Réaliser** les calculs d'âge pour les différents géologues.

Document 20. John Joly (1899) : une approche fondée sur la salinité des océans.

D'après Enseignement scientifique première, Belin 2019



Pistes d'exploitation

- **Exposer** l'approche de Joly (1857-1933).
- **Calculer** l'âge supposé de la Terre selon la méthode de Joly et **discuter** de la fiabilité des résultats.

Document 21. L'émergence de la notion d'évolution des espèces.

D'après Enseignement scientifique première, Le Livre Scolaire 2019

La découverte de nombreux fossiles de dinosaures (le mot apparaît en 1841) va obliger les scientifiques à s'interroger sur la disparition des espèces et à contredire les interprétations littérales de la Bible et les croyances en un Univers éternel et fixe.

En France, Georges Cuvier (1769-1832) est partisan de la fixité des espèces. Pour lui, les espèces animales sont créées telles quelles ; certaines disparaissent, à la faveur de catastrophes (déluges, séismes, etc.), et d'autres espèces les remplacent par migration. Au contraire, Jean-Baptiste de Lamarck (1744-1829) 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 (1809-1882) 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 (plusieurs centaines de millions d'années).

Document 22. Fossiles d'ammonites dans une couche géologique.

D'après Enseignement scientifique première, Le Livre Scolaire 2019

Les fossiles observés dans les couches géologiques sont relativement homogènes : ces espèces n'ont donc pas évolué durant les millions d'années nécessaires à la sédimentation de la couche. Or, puisqu'une évolution a eu lieu, c'est que ces millions d'années sont petits à l'échelle des temps géologiques. C'est la preuve pour Darwin que la Terre est plus âgée qu'on ne le pense.



Document 23. La polémique opposant physiciens et biologistes au XIX^e siècle.

D'après Enseignement scientifique première, Le Livre Scolaire 2019

Discipline (et chef de file)	Méthode employée	Age estimé de la Terre	Arguments	Incertitudes
Biologie (Darwin)	L'étude de fossiles	Au moins plusieurs centaines de millions d'années	L'évolution des espèces se fait très lentement.	L'estimation des durées de sédimentation pourrait être fausse. L'évolution pourrait se faire par « sauts » rapides.
Physique (Kelvin)	Mesure des temps de refroidissement de roches en fusion	40 à 400 millions d'années	Le calcul mathématique utilisé semble solide et incontestable.	Des sources inconnues de chaleur pourraient être à l'œuvre au cœur de la Terre.

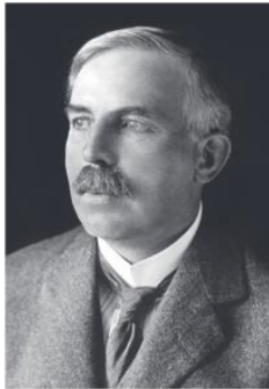
Pistes d'exploitation

- **Argumenter** en quoi l'approche et les conclusions de Kelvin pouvaient sembler plus plausibles que celles de Darwin (approche scientifique, débats au sein de la communauté scientifique dans la seconde moitié du XIX^e siècle).

Document 24. Rutherford met fin à la théorie de Kelvin sur l'âge de la Terre.

D'après Enseignement scientifique première, Bordas 2019

Ernest Rutherford (1871-1937)



En 1904, Ernest Rutherford découvre que certains atomes radioactifs (isotopes pères) se désintègrent au cours du temps en atomes radiogéniques (isotopes fils), et que leur désintégration s'accompagne d'un rayonnement et d'un dégagement de chaleur. Sa découverte mit à mal les conclusions de Kelvin, car elle montre que la Terre possède une source de chaleur que Kelvin n'avait pas envisagé dans son modèle de refroidissement. Voici comment Rutherford annonça sa découverte lors d'une conférence sur le radium :

« J'entrai dans la salle, à moitié sombre, et remarquai immédiatement la présence de Lord Kelvin. Je compris que j'aurais des difficultés avec la dernière partie de ma conférence, où j'abordais l'âge de la Terre, car mes idées contredisaient les siennes [...] J'eus alors une inspiration soudaine et dis : Lord Kelvin a donné une limite supérieure de l'âge de la Terre, sous la condition qu'on ne découvre pas de source de chaleur nouvelle. Cette possibilité prophétiquement annoncée, c'est précisément notre sujet d'aujourd'hui, le radium ! Voyez ! Le vieil homme me gratifia d'un sourire. »

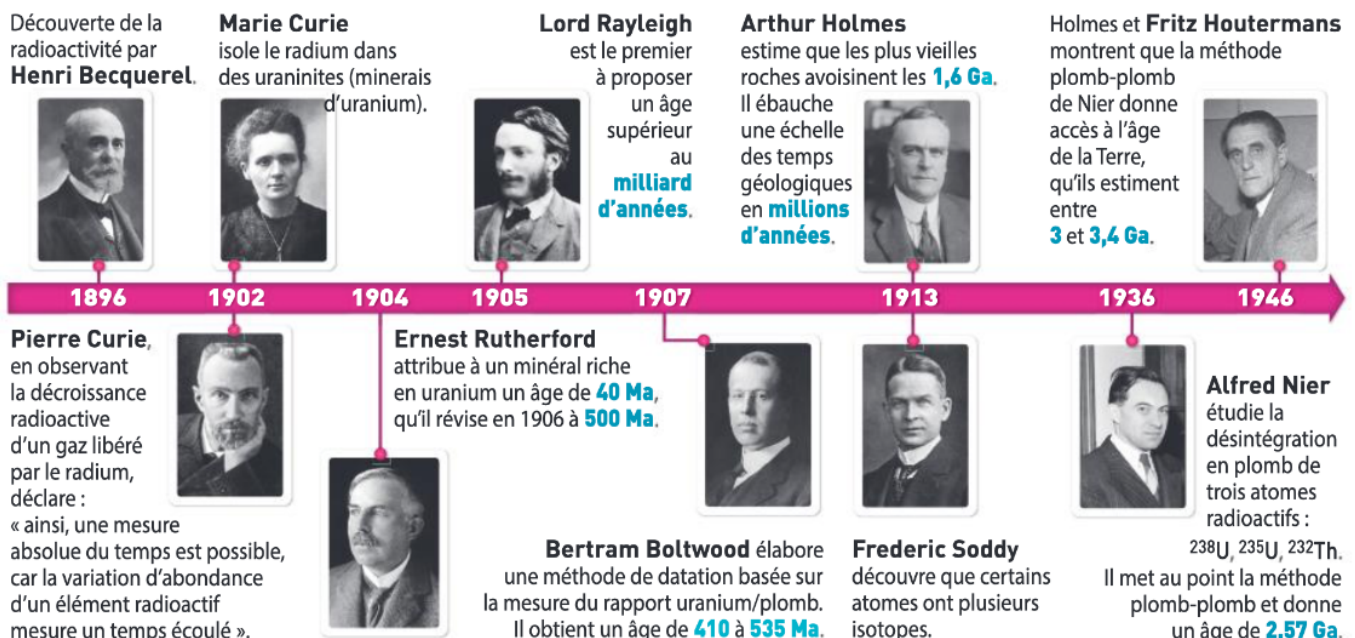
D'après P. Richet dans *l'Age du monde*, 1999.

Document 25. 50 ans de datation des roches terrestres.

D'après Enseignement scientifique première, Bordas 2019

Rutherford fut le premier à dater des roches par des méthodes de radiochronologie. De nombreux physiciens et géologues suivirent sa voie, et datèrent des roches de plus en plus anciennes.

Les progrès des techniques de datation radiochronologique.



Note : 1 Ga = 1 milliard d'années

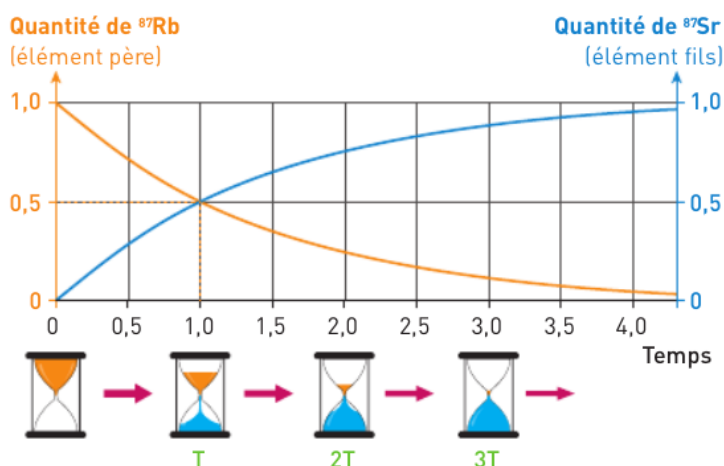
Pistes d'exploitation

- **Expliquer** en quoi la découverte de la radioactivité invalide les travaux de Kelvin.
- **Indiquer** l'apport majeur des méthodes radiochronologiques dans l'estimation de l'âge de la Terre.

Document 26. Différents couples isotopiques utilisés en radiochronologie.

D'après Enseignement scientifique première, Magnard / Le Livre Scolaire 2019

Pour tout couple isotopique, une datation absolue par radiochronologie repose sur la mesure de la quantité d'un élément radioactif et/ou de son élément fils (radiogénique) dans un échantillon de matière. Connaissant le temps de demi-vie des isotopes radioactifs, on détermine avec une grande précision l'âge d'un fossile ou d'un minéral. La période radioactive (demi-vie) de l'isotope doit être adaptée à l'âge estimé de la roche que l'on souhaite dater. La demi-vie correspond à la durée écoulée lorsque la moitié de la quantité d'éléments pères est désintégrée.



Le nombre d'éléments 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 la constante de désintégration.

Document 27. Quelques exemples de couples d'isotopes utilisés en radiochronologie.

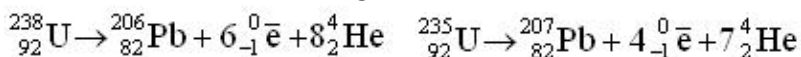
D'après Enseignement scientifique première, Magnard 2019

Noyau père	Désintégration	Noyau fils	Constante radioactive λ	Demi-vie $t_{1/2}$
^{14}C	β^-	^{14}N	$1,209 \times 10^{-4} \text{ a}^{-1}$	5 730 a
^{40}K	β^+	^{40}Ar	$5,81 \times 10^{-11} \text{ a}^{-1}$	11,9 Ga
^{87}Rb	β^-	^{87}Sr	$1,42 \times 10^{-11} \text{ a}^{-1}$	48,8 Ga
^{147}Sm	α	^{143}Nd	$6,54 \times 10^{-12} \text{ a}^{-1}$	106 Ga
^{235}U	chaîne	^{207}Pb	$9,848 5 \times 10^{-10} \text{ a}^{-1}$	0,704 Ga
^{238}U	chaîne	^{206}Pb	$1,551 25 \times 10^{-10} \text{ a}^{-1}$	4,47 Ga

Document 28. Datation des chaînes radioactives.

D'après Enseignement scientifique première, Magnard 2019 (modifié 2023)

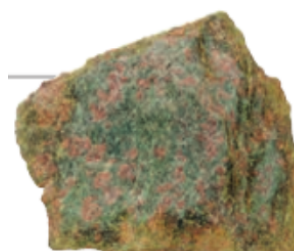
L'élément uranium possède deux isotopes radioactifs à longue demi-vie : l'uranium 235 et l'uranium 238. Chaque isotope se désintègre par étapes successives en isotope du plomb. Ainsi ^{235}U donne ^{207}Pb et ^{238}U donne ^{206}Pb selon les réactions de désintégrations suivantes :



Les temps de demi-vie étant connus, la datation sera effectuée par le rapport $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ qui a évolué au cours du temps.

C'est grâce à cette méthode que Clair Patterson a établi l'âge de la Terre en 1953.

L'éclotite des Essarts de Saint-Philibert-de-Bouaine a été datée à environ 436 Ma par la méthode U-Pb sur zircons



Pistes d'exploitation

- **Résumer** le principe de la méthode de la radiochronologie.
- **Déterminer** quels couples d'isotopes sont pertinents pour donner un âge à la Terre.
- **Indiquer** quelle méthode a été retenue par Clair Patterson.

Document 29. Un âge qui fait consensus.

D'après Enseignement scientifique première, Nathan / le Livre Scolaire 2019

En 1953, le géochimiste américain Clair Patterson (1922-1995) utilise la méthode de datation « plomb-plomb » sur des météorites pour dater l'âge de la Terre. Le résultat qu'il obtient est considéré aujourd'hui comme la première estimation correcte de l'âge de la Terre.

La Terre et les météorites ont en effet été formées par l'agglomération des particules de la même nébuleuse (nébuleuse solaire) : elles ont des compositions et des âges similaires.



Document 30. Les principes de datation de la méthode « plomb-plomb ».

D'après Enseignement scientifique première, Nathan 2019

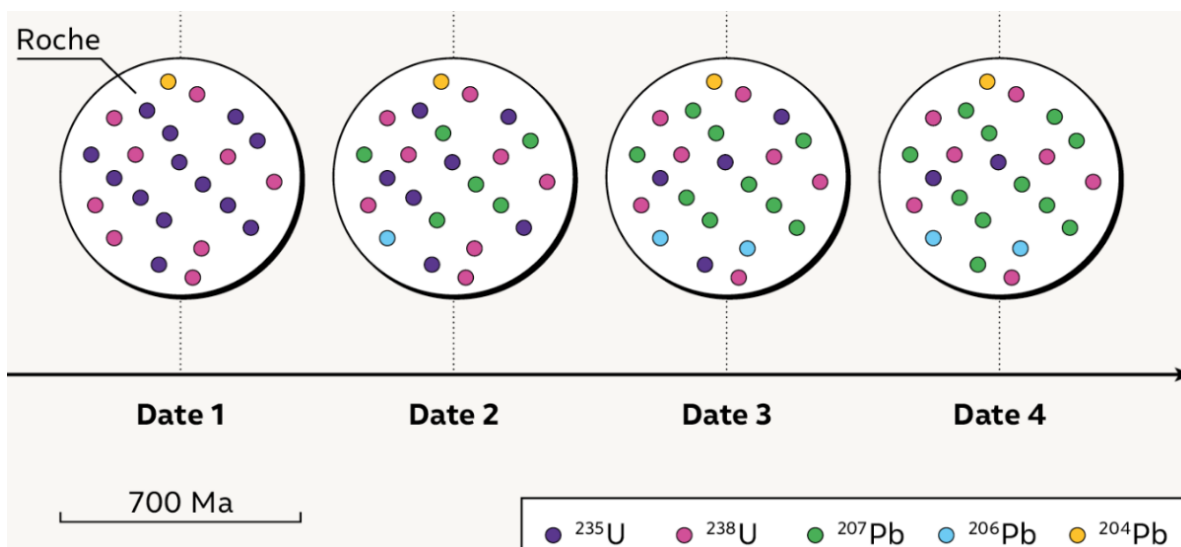
Le ^{204}Pb , ^{206}Pb , et ^{207}Pb sont des isotopes stables du plomb. La comparaison de leur abondance permet de dater les roches par la méthode plomb-plomb.

A l'aide d'un spectromètre de masse, on mesure les rapports en quantité $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ et de $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, donnant ainsi son nom à la méthode « plomb-plomb ».

Les résultats des mesures sont placés dans un graphique. Les roches qui ont le même âge s'alignent sur une droite. Le coefficient directeur de cette droite augmente avec le temps. Le calcul du coefficient directeur de cette droite permet d'obtenir un âge.

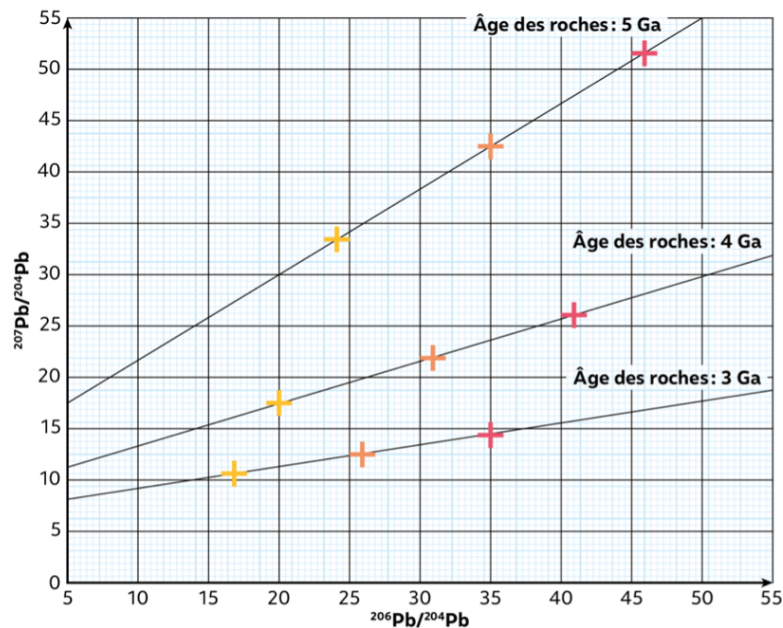
Document 31. Les principes de datation de la méthode « plomb-plomb ».

D'après Enseignement scientifique première, Nathan 2019



Document 32. Illustration de la méthode « plomb-plomb » pour trois exemples de roches.

D'après Enseignement scientifique première, Nathan 2019



Ces droites, de même âge, sont qualifiées d'isochrones.

Coef. dir. de l'isochrone	Temps (Ga)	Coef. dir. de l'isochrone	Temps (Ga)	Coef. dir. de l'isochrone	Temps (Ga)	Coef. dir. de l'isochrone	Temps (Ga)
0,057	0,5	0,164	2,5	0,597	4,5	2,507	6,5
0,072	1,0	0,223	3,0	0,845	5,0	3,642	7,0
0,094	1,5	0,306	3,5	1,207	5,5	5,315	7,5
0,123	2,0	0,425	4,0	1,734	6,0	7,785	8,0

Coef. dir. : coefficient directeur

Document 33. Résultats des mesures réalisées par Patterson.

D'après Enseignement scientifique première, Nathan 2019

Le tableau ci-dessous présente les rapports isotopiques du plomb contenu dans différentes météorites. Patterson complète son analyse avec celle de sédiments océaniques dont il considère que les teneurs en plomb reflètent celles de la Terre.

	Météorite de Nuevo Laredo (Nouveau Mexique)	Météorite de Canyon Diable (Arizona)	Météorite de Henbury (Australie)	Météorite de Forest City (Iowa)	Météorite de Modoc (Kansas)	Sédiments marins
$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	50,25	9,46	9,55	19,27	19,48	19,00
$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	34,86	10,34	10,38	15,95	15,75	15,80

D'après le modèle de la formation du Système solaire, les différents objets présents dans le Système solaire se sont formés en même temps. Ainsi, les météorites qui arrivent sur Terre ont le même âge que notre planète.

Pistes d'exploitation

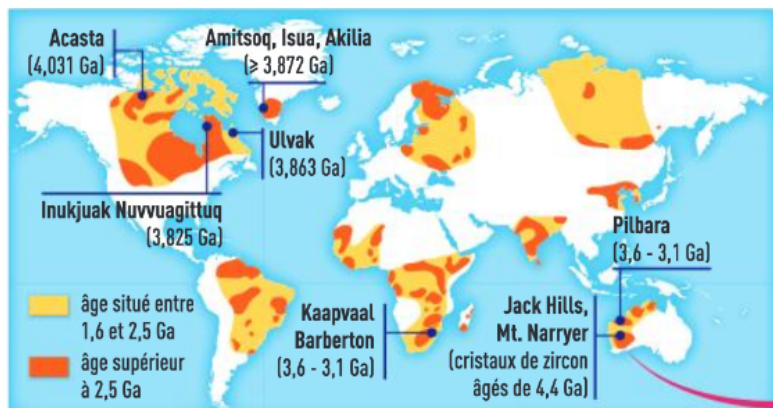
- **Expliquer** comment évoluent les rapports $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ et $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ dans une roche au cours du temps.
- **Indiquer** comment évolue le coefficient directeur des droites isochrones avec le temps.
- **Expliquer** pourquoi l'âge des météorites peut être utilisé pour connaître l'âge de la Terre.
- **Déterminer** l'âge de la Terre en utilisant les mesures et la méthode de Patterson. Pour cela, **réaliser** un graphique sur un tableur. Faire attention à bien représenter X et Y (voir document 32 pour aide). **Réaliser** un graphique type « nuages de points », et à l'aide d'un clic droit sur un des points, **représenter** une courbe de tendance linéaire avec équation affichée sur le graphique (droite de régression). Le graphique est à présenter en classe.

Document 34. Les plus vieilles roches formées sur Terre.

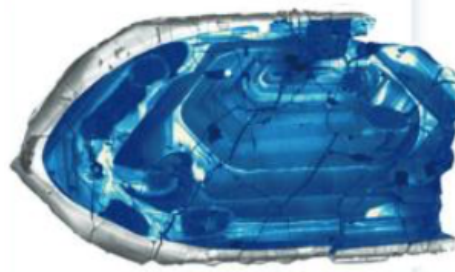
D'après Enseignement scientifique première, Bordas 2019

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.

Répartition géographique des plus anciennes roches terrestres connues.



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



Pistes d'exploitation

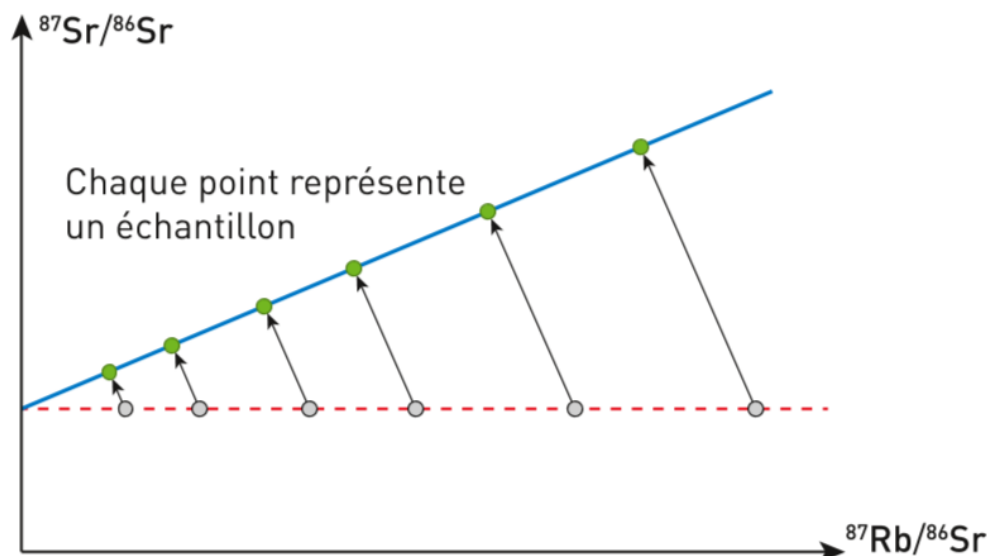
- **Indiquer** où sont situées les plus vieilles roches trouvées sur Terre.

Exercice supplémentaire.

D'après Enseignement scientifique première, Magnard 2019

On peut dater des roches à l'aide de la méthode rubidium (Rb) strontium (Sr). L'isotope père ^{87}Rb se désintègre en isotope radiogénique ^{87}Sr .

Lors de la formation des roches magmatiques et des météorites, des atomes de ^{87}Rb , ^{87}Sr et ^{86}Sr sont incorporés dans certains minéraux. Au temps t_0 (formation de la roche), les minéraux ont le même rapport $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ mais des rapports $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ différents (droite en pointillée). Au cours du temps, le ^{87}Rb se désintègre en ^{87}Sr , ce qui diminue le rapport $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ et augmente le rapport $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (droite pleine).



La droite bleue représente donc l'état de ces rapports au même instant t : on sait qu'il s'agit d'une droite isochrone dont le coefficient directeur donne l'âge de la fermeture du système (indispensable pour dater car c'est le moment où il n'y a plus d'échanges avec le milieu extérieur) grâce à la relation suivante :

$$t = \frac{\ln(a + 1)}{\lambda}$$

\ln : fonction logarithme népérien (vu en spécialité mathématiques de terminale)

λ : constante de désintégration, propre à chaque élément radioactif. Ici $\lambda = 1,42 \cdot 10^{-11} \text{ an}^{-1}$

Les teneurs en Rb et Sr de huit échantillons de météorites ont été mesurés par spectrométrie de masse.

Echantillon	^{87}Rb actuel / ^{86}Sr actuel	^{87}Sr actuel / ^{86}Sr actuel
1	0,758	0,74864
2	0,7255	0,7465
3	1,52	0,79891
4	1,49	0,79692
5	1,555	0,80152
6	1,685	0,80952
7	0,1542	0,7091
8	0,1533	0,70895

- **Saisir** les données dans un tableur.
- **Effectuer** un graphique type « nuages de points » en respectant X et Y (voir graphique modèle).
- **Afficher** la courbe de tendance linéaire et son équation.
- **Calculer** l'âge des météorites.