



POUR COMMENCER



Testez votre culture scientifique

Identifiez la bonne réponse

1. La Terre s'est formée :

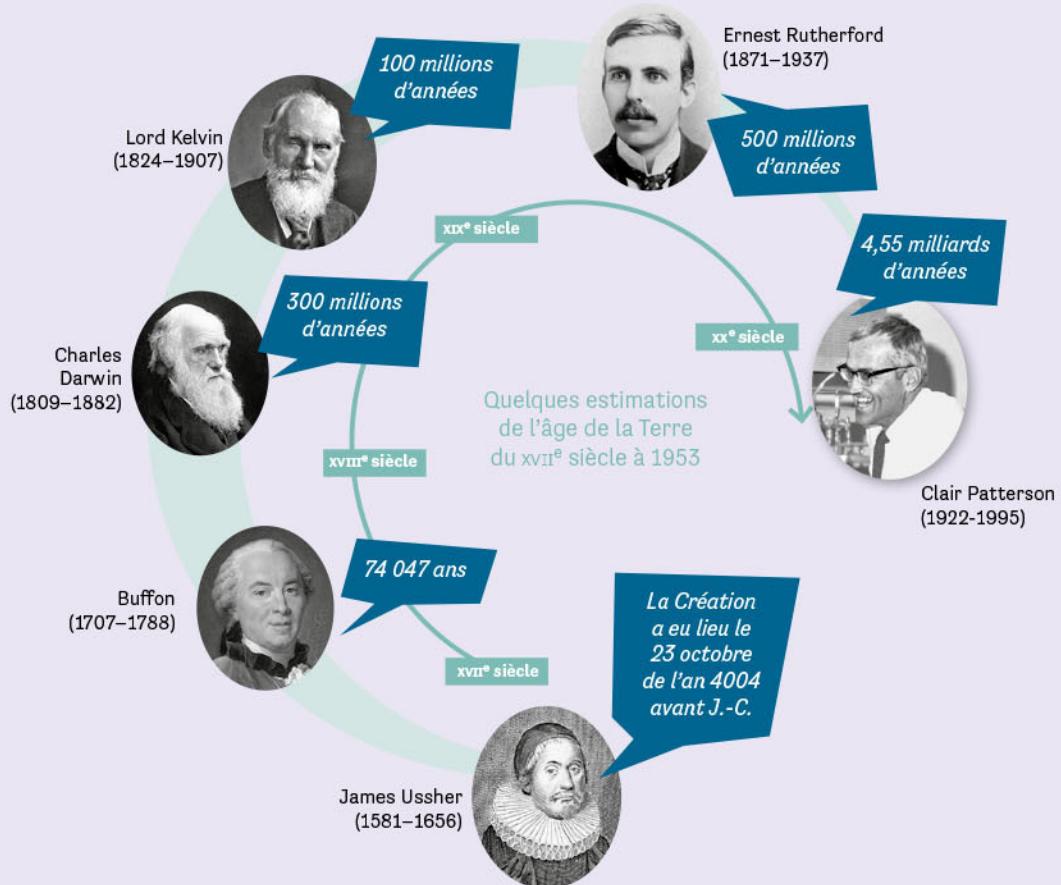
- a. avant le Soleil
- b. en même temps que le reste du système solaire
- c. en même temps que les étoiles

2. Les plus vieux fossiles connus sur Terre sont âgés de :

- a. quelques millions d'années
- b. plusieurs centaines de millions d'années
- c. quelques milliards d'années

Recherches Internet

Expliquez, quand c'est possible, le principe de datation de la Terre utilisé par chacun des personnages de la frise.



Roches âgées de 350-375 millions d'années à Bungle Bungle Range, dans le Parc national de Purnululu (Australie).



CHAPITRE

9

HISTOIRE DE L'ÂGE DE LA TERRE

UNITÉ 1 De l'Antiquité au XVIII^e siècle : premières estimations

UNITÉ 2 La controverse du XIX^e siècle

UNITÉ 3 Le XX^e siècle et l'horloge radioactive



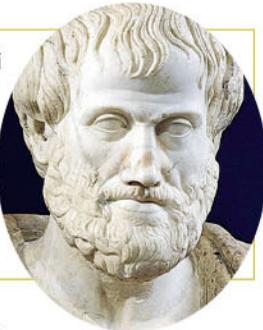
De l'Antiquité au XVIII^e siècle : premières estimations

Histoire des sciences

La question de l'âge de la Terre s'est très vite posée aux humains. De l'Antiquité à la fin du XVIII^e siècle des réponses très différentes y ont été données.

Quelles approches ont été utilisées pour les premières estimations de l'âge de la Terre ?

« 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. »



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

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 3483 ans depuis la création du monde jusqu'à Jésus-Christ, et le plus long en compte 6984. »

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.

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

Interview de Vincent Delecroix, philosophe

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 aristotéliciennes

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 ».

DOC 4 Des estimations à replacer dans leur contexte.

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.**



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

« Halley (l'homme de la comète) explique que la salinité de la mer a été apportée par l'eau douce des rivières. Ce n'est pas un paradoxe. L'eau réputée douce des rivières contient en réalité quelques sels provenant des roches qu'elle érode. Elle fournit continûment ces sels à l'océan qui, en permanence, évapore de l'eau douce ; le bilan est donc simple : l'eau de l'océan se charge petit à petit en sels des rivières. A l'appui de cette thèse, les lacs qui ont un déversoir ne sont pas salés, mais le deviennent dès qu'ils sont isolés. Ainsi, en estimant la quantité de sels des océans et le débit total des fleuves (en tonnes de sel par année), on peut déduire le temps nécessaire à leur apport. Halley n'a pas donné d'estimation, mais pensait que son modèle prouverait que la Terre était beaucoup plus vieille qu'on ne le croyait [à l'époque].»

Hubert Krivine, «Histoire de l'âge de la Terre»,
Images de la Physique, CNRS 2011.



En 1755, Georges Louis Leclerc, comte de Buffon, mena dans une forge localisée à proximité de Montbard (en Bourgogne) une expérience dont l'objectif était de déterminer l'âge de la Terre. Il posa l'hypothèse suivante : la Terre était à sa naissance une boule chauffée au rouge. Depuis, elle s'est refroidie, jusqu'à atteindre sa température actuelle. Le principe de l'expérience était le suivant : porter au rouge des boulets de fer de diamètres croissants et mesurer leur temps de refroidissement, puis trouver une relation entre le diamètre du boulet et le temps de refroidissement et, enfin, extrapoler cette relation pour une boule dont le diamètre serait celui de la Terre (13 000 km, soit 941461920 demi-pouces).



DOC 5 L'approche d'Edmund Halley (1656-1742).

« J'ai cherché à saisir deux instants dans le refroidissement, le premier où les boulets cessaient de brûler, c'est-à-dire le moment où on pouvait les toucher et les tenir avec la main, pendant une seconde, sans se brûler ; le second temps de ce refroidissement était celui où les boulets se sont trouvés refroidis jusqu'au point de la température actuelle, c'est-à-dire à 10 degrés au-dessus de la congélation. Et pour connaître le moment de ce

refroidissement jusqu'à la température actuelle, on s'est servi d'autres boulets de comparaison de même matière et de mêmes diamètres qui n'avaient pas été chauffés, et que l'on touchait en même temps que ceux qui avaient été chauffés. Par cet attouchement immédiat et simultané de la main ou des deux mains sur les deux boulets, on pouvait juger assez bien du moment où ces boulets étaient également froids. »

Diamètre du boulet (en demi-pouces)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Temps du premier refroidissement (en minutes)	12	35,5	58	80	102	127	156	182	205	232
Temps du second refroidissement (en minutes)	39	93	145	196	248	308	356	415	466	522

DOC 7 Les résultats de l'expérience de Buffon. En extrapolant les résultats ci-dessus à une boule du diamètre de la Terre (voir DOC 6), Buffon propose un âge pour notre planète.

TÂCHE COMPLEXE

Mission

Vous répondrez à la question de l'unité sous la forme d'un tableau.

Pistes de réalisation

- Vous distinguerez les approches non scientifiques et les approches scientifiques.
- Vous indiquerez l'âge proposé par chaque auteur et vous calculerez l'âge obtenu par Buffon grâce à son expérience.
- Vous déterminerez quelles hypothèses faites par Buffon s'avèrent fausses avec les connaissances scientifiques actuelles.

Besoin d'aide?



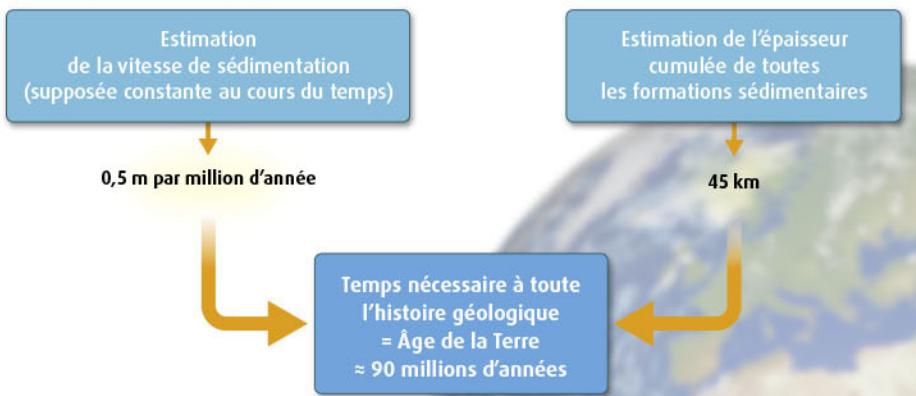
Les controverses du XIX^e siècle

Histoire des sciences

Le XIX^e siècle est marqué par plusieurs controverses scientifiques. L'une d'entre elles a opposé deux scientifiques célèbres : le naturaliste Charles Darwin et le physicien William Thomson, devenu Lord Kelvin.

Quels ont été les motifs des controverses sur l'âge de la Terre et comment les interpréter aujourd'hui ?

Données prises en compte par d'Albert de Lapparent :



Données prises en compte par d'autres géologues pour leurs estimations :

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

DOC 1 Les approches fondées sur l'étude des dépôts sédimentaires. 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.

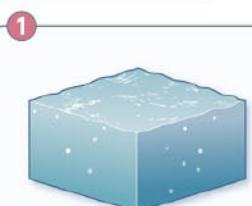
Hypothèses

1 Le sodium est apporté aux océans seulement par les rivières

2 Il n'y a pas de perte de sodium dans les océans

3 L'eau des océans ne contenait initialement pas de sodium

Estimations

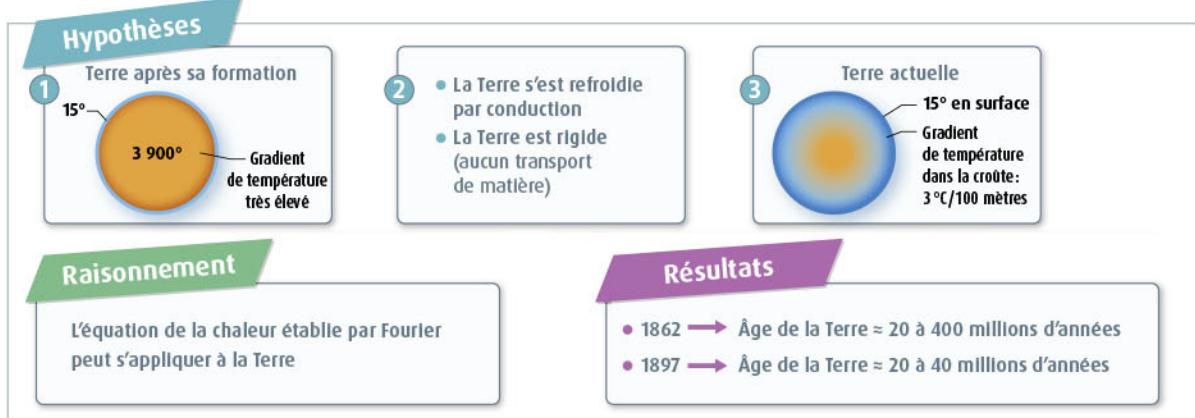


$1,42 \cdot 10^{19}$ kilogrammes de sodium dans les océans



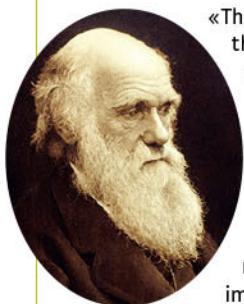
$1,43 \cdot 10^{11}$ kilogrammes de sodium apportées chaque année par les rivières

DOC 2 John Joly (1899) : une approche fondée sur la salinité des océans.



DOC 3 Lord Kelvin : une approche fondée sur le temps de refroidissement de la Terre. Ce physicien suit le même raisonnement que Buffon, mais il s'appuie sur l'équation de la chaleur publiée en 1807 par Joseph Fourier. Cette équation permet de déterminer l'évolution de la température en fonction du temps dans un corps conducteur.

Charles Darwin estime la vitesse d'érosion des collines du Weald, en Angleterre à un pouce par siècle et en déduit qu'il a fallu 300 millions d'années pour les sculpter. La Terre doit donc être au moins aussi vieille. Il remarque en outre que les fossiles varient peu dans des couches dont l'âge est estimé à plusieurs dizaines de millions d'années. Or, la théorie de la descendance avec modification, qu'il a publiée en 1859, implique que l'histoire de la vie est marquée de variations continues de la faune et la flore sous l'influence de la sélection naturelle. Darwin ne donne pas de chiffre, mais il déduit de tout cela que l'estimation de Thompson est inexacte:



«Thompson's views of the recent age of the world have been for some time one of my sorest troubles.»
Lettre au naturaliste Alfred R. Wallace,
14 avril 1869.

«The brevity of the world troubles me, on account of the pre-silurian creatures which must have lived in numbers during endless ages, else my views would be wrong, which is impossible.»
Lettre à son fils George H. Darwin, 9 déc. 1868.

DOC 4 L'approche de Charles Darwin.



Interview de Guillaume Lecointre,
professeur du Muséum national
d'Histoire naturelle

Pour les naturalistes, il avait fallu un temps long pour que les strates se mettent en place. Pour Darwin, l'évolution des espèces fut au moins aussi longue puisque celles-ci ont «enregistré» la transformation des formes vivantes. Un seul mois après la parution de *L'Origine des espèces*, l'illustration par Darwin d'un âge minimal pour la Terre était déjà critiquée. La troisième édition, parue début 1861, fit disparaître le calcul. Mais les attaquants persistèrent. Kelvin était contre la sélection naturelle pour des raisons qui ne tenaient pas à la durée qu'elle impliquait, mais à son refus du rôle que Darwin donnait au hasard. Les lois de la thermodynamique étaient le levier qu'il allait utiliser pour publier un âge de la Terre... trop jeune. En 1869, Darwin est déstabilisé : sa théorie prévoit une Terre plus ancienne que celle de Kelvin, mais les naturalistes n'ont pas les moyens de calculer un temps absolu, ni de réfuter les calculs de Kelvin. Darwin suspend son jugement en 1871 : il a l'intuition que les prémisses utilisées par Kelvin sont insuffisantes et que la Terre doit présenter en son cœur d'autres sources d'énergie. Les prémisses de Kelvin étaient fausses en effet, mais Darwin est mort en 1882 avant d'en avoir eu confirmation.

DOC 5 La controverse Darwin-Kelvin.

TÂCHE COMPLEXE

Mission

Vous répondrez à la question de l'unité sous la forme d'un texte.

Pistes de réalisation

- Vous critiquerez les méthodes fondées sur l'étude des sédiments et de celles fondées sur la salinité des océans : sources d'incertitudes, hypothèses sujettes à discussion, etc.
- Vous expliquerez en quoi l'approche et les conclusions de Kelvin pouvaient sembler plus plausibles que celle de Darwin, du point de vue de l'approche scientifique et du point de vue des débats au sein de la communauté scientifique dans la seconde moitié du XIX^e siècle.



Le xx^e siècle et l'horloge radioactive

Histoire des sciences

L'âge de la Terre aujourd'hui admis par les scientifiques a été établi grâce à un cheminement scientifique et technique qui s'est déroulé durant les cinquante premières années du xx^e siècle.

Quel est ce cheminement ?

«[En 1902, Ernest Rutherford et Frederick Soddy] s'aperçoivent que le temps qu'il faut pour que l'activité d'un élément radioactif diminue de moitié est une constante qui ne dépend que du noyau étudié. Ce temps, appelé période T de l'élément radioactif, est caractéristique parce qu'il ne dépend

pas non plus de la quantité initiale de noyaux radioactifs: à chaque intervalle de temps T , la quantité de noyaux radioactifs restante est divisée par deux. [...] C'est cette régularité qui fait de la radioactivité une horloge utilisable.»

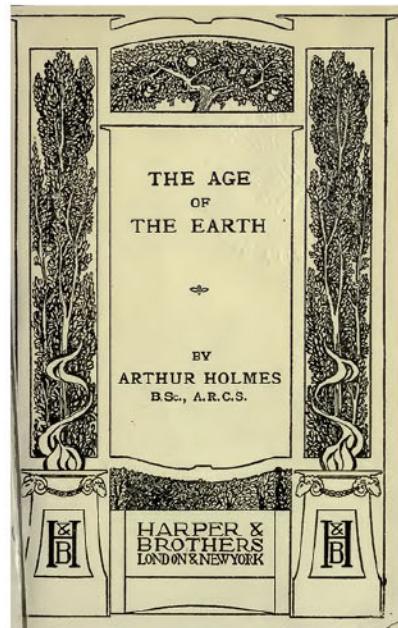
Hubert Krivine, *op. cit.*, 2011.

DOC 1 L'horloge radioactive.



Les physiciens Pierre et Marie Curie purifient le radium en 1903 et montrent que sa désintégration produit une grande quantité de chaleur. De nombreux éléments naturels présents sur Terre contenant du radium, le physicien Robert Strutt remet en cause, avec d'autres, le raisonnement de Kelvin dans son estimation de l'âge de la Terre.

DOC 2 Pierre et Marie Curie dans leur laboratoire.



DOC 3 Édition originale de l'Âge de la Terre, ouvrage publié en 1913 par Arthur Holmes. À la fin des années 1900, on sait que la désintégration radioactive de l'uranium donne du plomb et de l'hélium. Connaissant le taux de désintégration de l'uranium, Holmes date des roches dont les minéraux contiennent de l'uranium. Il obtient des âges compris entre 340 (pour les roches du Carbonifère) et 430 millions d'années (pour celles du Silurien).



(U) : Uranium

(Pb) : Plomb

(He) : Hélium

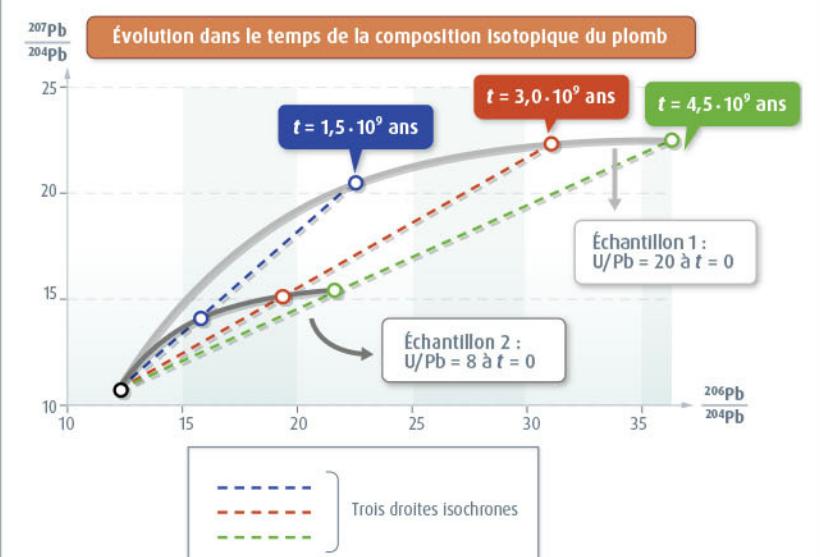
La notion d'isotopie est découverte par Soddy en 1911 pour rendre compte des propriétés chimiques très proches de certains éléments. Deux isotopes ont le même nombre de protons et d'électrons, mais pas le même nombre de neutrons. Le plomb comprend de nombreux isotopes, dont le plomb 204, qui est stable et n'est pas le résultat d'une chaîne de désintégration radioactive.

DOC 4 Deux réactions de désintégration radioactive.



DOC 5 Le physicien A.O. Nier avec un spectromètre de masse de sa conception en 1940. Avec la mise au point de cet appareil, il devient possible de mesurer très précisément des rapports d'abondance entre différents isotopes.

DOC 6 Le concept d'isochrone (1946).



«Les rapports $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ et $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ augmentent avec le temps. Le point de départ de cette évolution est fixé par la composition du plomb primordial. Le chemin parcouru dépend en outre de la teneur en uranium du minéral, car le plomb 204 est en effet dilué d'autant plus vite par les isotopes radiogéniques que cette teneur en uranium est forte. À partir de la même composition primordiale, des minéraux de teneur croissante en uranium définissent ainsi des évolutions de plus en plus marquées. Or ces chemins ont la particularité mathématique que des minéraux de même âge, mais de teneurs en uranium différentes, se placent tous sur une même droite. L'âge est alors très simplement donné par la pente de cette droite, appelée isochrone par Fritz Houtermans.»

P. Richet, *Travaux du comité français d'histoire de la géologie*, 1999.

Calculer avec les données de Patterson



Dans les années 1950, le modèle de formation du système solaire propose que tous ses éléments se sont formés en même temps. Ainsi, dater un objet primitif du système solaire telle qu'une météorite permet d'accéder à l'âge des planètes, dont la Terre. Le géochimiste américain Clair Patterson applique la méthode décrite **DOC 6** (mesure des rapports $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ et $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$) à cinq météorites. Il obtient une droite isochrone correspondant à un âge de 4,55 milliards d'années. C'est l'âge de la Terre admis par la communauté scientifique aujourd'hui encore.

DOC 7 Les travaux de Clair Patterson (1953).



TÂCHE COMPLEXE

Mission

Vous répondrez à la question de l'unité sous la forme d'une frise chronologique accompagnée d'un texte.

Pistes de réalisation

- Votre frise mentionnera les étapes clés qui ont conduit à proposer l'âge aujourd'hui admis pour la Terre.
- Votre texte expliquera comment les conclusions de Kelvin ont été remises en cause; puis il montrera que la mise au point de la méthode de datation de la Terre résulte d'échanges entre plusieurs domaines scientifiques ou techniques.

Besoin d'aide?



HISTOIRE DE L'ÂGE DE LA TERRE



1. De l'Antiquité au XVIII^e siècle : les premières estimations > UNITÉ 1

- ▶ Au cours de l'Histoire, les âges proposés pour la Terre ont varié. Ainsi, pour Aristote, notre planète a toujours existé. Et au XVII^e siècle, des calculs effectués à partir de la Bible proposent que la naissance du Monde aurait eu lieu autour de 4 000 avant J.-C.
- ▶ Au XVIII^e siècle émergent les premières **démarches scientifiques**, résultant d'observations et d'expériences. Par exemple, Buffon, en se fondant sur des hypothèses (qui se sont avérées inexactes) concernant le refroidissement de la Terre et des mesures expérimentales, évalue l'âge de la Terre à 10 millions d'années.

2. Les controverses du XIX^e siècle > UNITÉ 2

- ▶ Au XIX^e siècle, les approches scientifiques se développent et conduisent à une **controverse scientifique** qui oppose Darwin et Kelvin.
- ▶ Darwin et d'autres « naturalistes » proposent des calculs fondés notamment sur la durée nécessaire à la formation d'ensembles sédimentaires ou à leur érosion, la succession de fossiles dans ces ensembles, et proposent des âges de plusieurs centaines de millions d'années.
- ▶ Kelvin, physicien reconnu, propose un temps de quelques dizaines de millions d'années, issu de l'application d'un modèle de refroidissement de la Terre. Ses arguments mathématiques semblent impossibles à mettre en défaut. La polémique prend place dans un contexte où Kelvin s'oppose à l'idée de sélection naturelle, proposée par Darwin dans le cadre de sa théorie de l'évolution.

3. Le XX^e siècle et l'horloge radioactive > UNITÉ 3

- ▶ Au début du XX^e siècle, la découverte de la **radioactivité** met fin à la polémique. La chaleur produite par la désintégration radioactive conduit à remettre en cause le raisonnement de Kelvin. La relation entre la quantité d'**éléments père** et d'**éléments fils** dans une roche qui les contient étant liée au temps, il est possible de dater sa formation.
- ▶ La mise au point du **spectromètre de masse** permet de mesurer précisément ces teneurs. En 1953, l'âge absolu de la Terre a pu être établi à 4,55 milliards d'années, à partir de **météorites**, objets primitifs du système solaire formés en même temps que la Terre.

Les mots-clés du chapitre

Controverse scientifique • Démarche scientifique • Élément père • Élément fils • Météorite • Radioactivité • Spectromètre de masse

► Lexique p. 251

l'essentiel par l'image

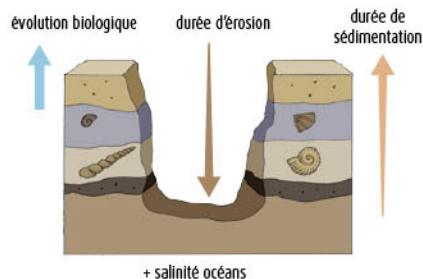
Antiquité

La Terre a toujours existéXVII^e siècle**Le récit de la Genèse**

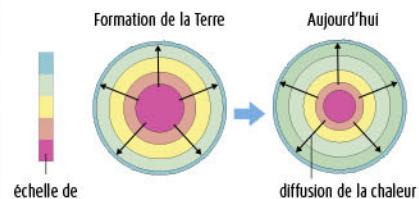
▶ Âge de la Terre = quelques milliers d'années

XVIII^e siècle**Les premières démarches scientifiques**

▶ Âge de la Terre = quelques dizaines de millions d'années

XIX^e siècle**Le temps des polémiques****Les naturalistes****Les physiciens**

Lois de diffusion de la chaleur appliquées au refroidissement de la Terre



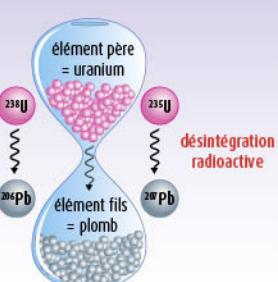
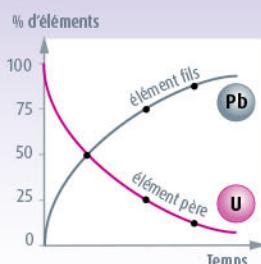
▶ Âge de la Terre = plusieurs centaines de millions d'années

▶ Âge de la Terre = quelques dizaines de millions d'années

XX^e siècle

- Découverte de la radioactivité
- Mise au point des spectromètres de masse

➡ Radiochronomètre



▶ Âge de la Terre = 4,55 milliards d'années

Tester ses savoirs

1 Vrai/Faux

Identifiez les affirmations fausses et rectifiez-les.

- a. Dès l'Antiquité, des âges de l'ordre de quelques milliers d'années ont été proposés pour la Terre.
- b. Les premières approches utilisant des arguments scientifiques pour déterminer l'âge de la Terre remontent au xv^e siècle.

- c. La controverse scientifique sur la question de l'âge de la Terre a opposé des «naturalistes» et des physiciens.
- d. Il s'est écoulé environ 100 ans entre la découverte de la radioactivité et la détermination de l'âge de la Terre actuellement admis.

2 QCM

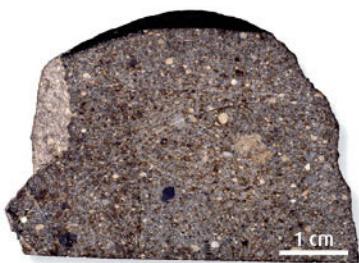
Pour chaque proposition, identifiez la bonne réponse.

- 1. L'âge de la Terre aujourd'hui admis par la communauté scientifique est de :**

- a. $4,55 \cdot 10^6$ ans
- b. $4,55 \cdot 10^9$ ans
- c. $455 \cdot 10^6$ ans

- 2. La photo ci-dessous représente un type d'objet minéral qui a permis de déterminer l'âge de la Terre. Il s'agit :**

- a. d'une roche sédimentaire
- b. d'une ancienne roche magmatique terrestre
- c. d'un objet extraterrestre
- d. d'un fragment de noyau terrestre



- 3. À la Renaissance, les âges proposés à partir de l'analyse de la Bible étaient de l'ordre de :**

- a. quelques milliers d'années
- b. quelques dizaines de milliers d'années
- c. quelques centaines de milliers d'années
- d. quelques millions d'années

- 4. Parmi les approches suivantes pour donner un âge à la Terre, indiquer laquelle n'a pas été proposée au xix^e siècle :**

- a. le calcul du temps nécessaire à la formation des ensembles de roches sédimentaires
- b. le calcul du temps nécessaire au refroidissement de la Terre
- c. le calcul du temps nécessaire à l'obtention du taux de salinité des océans
- d. le calcul du temps nécessaire à l'obtention de rapports en isotopes du plomb mesurés dans des roches

- 5. Les météorites de type chondrite :**

- a. ont le même âge que les autres constituants du système solaire
- b. proviennent de la Terre
- c. proviennent de planètes comme Mars ou de la Lune

- 6. Le résultat du calcul proposé par Buffon pour estimer l'âge de la Terre en 1770 était inexact car :**

- a. il ne disposait pas à l'époque de moyens de calcul suffisamment performants
- b. l'un des hypothèses de son raisonnement était inexacte
- c. ce calcul repose sur des expériences qui n'ont pas été réalisées correctement

3 Question de synthèse

En vous appuyant sur l'exemple de l'âge de la Terre, vous montrerez comment la science construit et perfectionne peu à peu sa compréhension de la nature en exploitant des faits nouveaux apparus successivement. Votre réponse prendra la forme d'un texte d'une vingtaine de lignes.

Critères de réussite

- ✓ J'ai distingué les faits des opinions.
- ✓ J'ai montré le lien entre des progrès scientifiques et des connaissances.
- ✓ J'ai utilisé plusieurs faits pour montrer une chronologie dans la construction des connaissances.

4 Mettre en relation des informations, calculer, raisonner

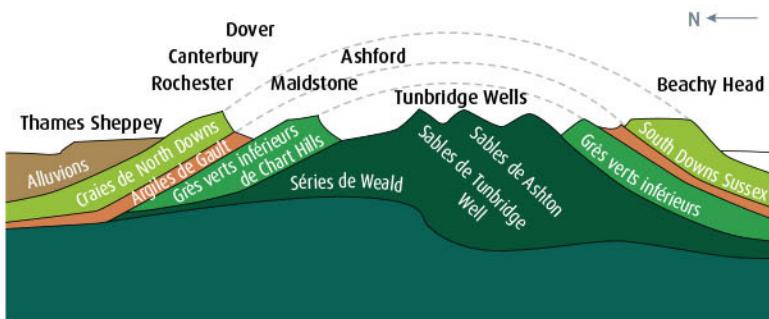
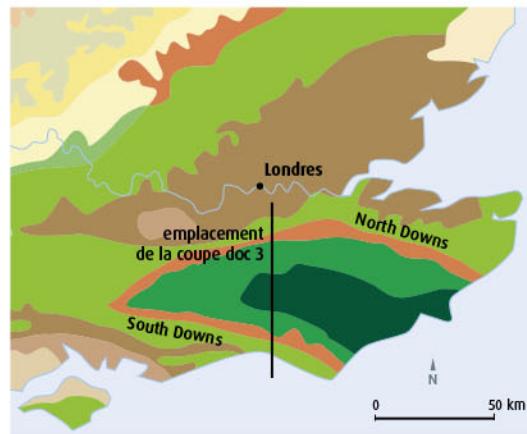
Calculer le temps nécessaire à la formation d'une vallée

En observant les collines de Weald, dans le sud-est de la Grande-Bretagne, Charles Darwin a eu l'idée de calculer le temps qui fut nécessaire pour que l'érosion sculpte ces reliefs.

DOC 1 Lyell et le principe de l'uniformitarisme.

« Au cœur de tous les bouleversements qui ont affecté le globe, le fonctionnement de la Nature est pourtant resté immuable et ses lois sont les seules à leur avoir résisté. Les rivières et les rochers, les mers et les continents ont été transformés de part en part, mais les lois qui gouvernent ces changements, les règles auxquelles ils obéissent, sont invariablement restées les mêmes ».

Charles Lyell, *Principles of geology*, 1830.



Formations	Épaisseur
Craies de North Downs	200 m
Argiles du Gault	110 m
Grès verts inférieurs	215 m

DOC 3 Coupe géologique du Weald.

Les courbes en pointillés indiquent les couches ôtées par l'érosion.

QUESTIONS

- Indiquez en quoi le principe énoncé par Lyell permet à Darwin d'effectuer son raisonnement.
- Calculez le temps nécessaire au déblaiement par l'érosion des couches sédimentaires du Weald en prenant en compte le taux d'érosion actuel estimé sur les plaines: 20 mm/1000 ans.
- Confrontez votre résultat à celui attribué à Darwin (voir DOC 4 p. 147) et proposez des explications aux différences constatées.

5 Calculer

Un autre chronomètre radioactif

Le rubidium Rb et le strontium Sr sont des éléments contenus en très faible quantité dans les minéraux. Il existe plusieurs isotopes pour ces deux éléments, et l'isotope ^{87}Rb , radioactif, se désintègre en ^{87}Sr .

On peut établir la relation :

$$^{87}\text{Sr} = ^{87}\text{Sr}_0 + ^{87}\text{Rb} (e^{\lambda t} - 1)$$

où e est la fonction mathématique « exponentielle », ^{87}Sr et ^{87}Rb les teneurs mesurées au temps t (actuel), $^{87}\text{Sr}_0$ est la teneur initiale (inconnue) et λ la constante de désintégration du couple ($\lambda = 1,4 \cdot 10^{-11} \text{ an}^{-1}$).

Deux inconnues dans cette équation ne permettent pas de la résoudre. Cependant on s'est aperçu que pour tous les minéraux d'une même roche, le rapport $(^{87}\text{Sr} / ^{86}\text{Sr})_0$ était identique. En effet, ^{86}Sr est un isotope stable du strontium, donc $^{86}\text{Sr}_t = ^{86}\text{Sr}_0$. On peut alors écrire :

$$\frac{^{87}\text{Sr}}{^{86}\text{Sr}} = \left(\frac{^{87}\text{Sr}}{^{86}\text{Sr}} \right)_0 + \frac{^{87}\text{Rb}}{^{86}\text{Sr}} (e^{\lambda t} - 1)$$

soit :

$$Y = b + X a$$

QUESTIONS

1. Tracez la droite $Y = b + aX$ à partir des données fournies.
2. Indiquez comment vous devrez utiliser le graphique pour déterminer l'âge de ces météorites.

Échantillon	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$
Chainpur 1	0,7580	0,74864
Soko banja A 1	1,520	0,79891
Soko Banja B 2	1,685	0,80952
Soko Banja I	0,1542	0,70910
Guidder	0,4060	0,72576
Olivenza	0,7790	0,75035
Saint Severin B 1	0,1610	0,70941

DOC 1 Les mesures effectuées sur différentes chondrites.

Y et X peuvent être mesurés et on ne connaît pas b , mais c'est une constante. Le graphique $Y = f(X)$ est représenté par une droite dont la pente sera $a = (e^{\lambda t} - 1)$. Le tableau ci-dessus représente des mesures effectuées en 1981 par les géologues Jean-François Minster et Claude Allègre pour proposer une nouvelle estimation de l'âge de la Terre à partir de météorites appelées chondrites.

6 Raisonner et rédiger

Roches terrestres, roches lunaires

DOC 1 Extraits d'un article publié en 1970. À l'époque, la plus ancienne roche terrestre connue était datée de 3,3 milliards d'années.

Un récent communiqué divulgué par la NASA informe que, selon les premières analyses, les roches lunaires comptent 4,5 milliards d'années. En surface, la Lune serait donc plus ancienne que les roches terrestres dites « les plus vieilles ». Pourtant la Lune est, selon les théories couramment admises, fille de la Terre. Il est vrai que l'on peut admettre que les profondes transformations de la surface terrestre par l'érosion et l'activité orogénique ont été telles que les roches les plus anciennes enfouies dans le sous-sol n'ont pas encore été découvertes, alors que la surface de la Lune a été en quelque sorte figée depuis ces temps lointains.

Jean Dulemba, *L'Astronomie*, 1970.

QUESTIONS

1. À l'aide d'une recherche documentaire, expliquez l'expression suivante : « La Lune est, selon les théories couramment admises, fille de la Terre. »
2. À l'aide de vos connaissances, expliquez le raisonnement de l'auteur de l'article.
3. Recherchez quel est l'âge des plus anciennes roches terrestres et celui des plus anciens minéraux connus aujourd'hui.

Évolution

De l'origine de la Terre à celle de l'Humanité

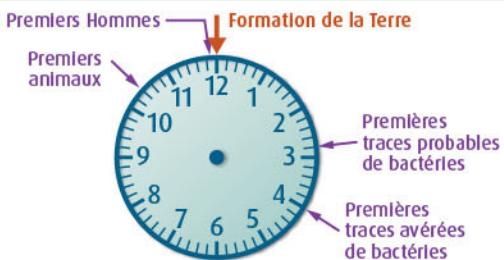
La Terre s'est formée il y a 4,55 milliards d'années. On connaît des structures fossiles âgées de 3,5 milliards d'années qui sont très probablement la trace de l'activité de bactéries. Les premières preuves certaines de la présence de bactéries sont vieilles de 2,7 milliards d'années. Les plus vieux animaux fossiles connus datent de 600 millions d'années, puis, il y a environ 570 millions d'années, on observe une très forte diversification dans ce groupe. Quant à l'espèce humaine sous sa forme actuelle, elle est apparue il y a seulement 300 000 ans. Ainsi, si l'on rapporte l'histoire de la Terre à une demi-journée de 12 heures (horloge évolutive), l'humanité apparaît dans les dernières minutes. On peut construire de même une horloge évolutive pour les évolutions technologiques.



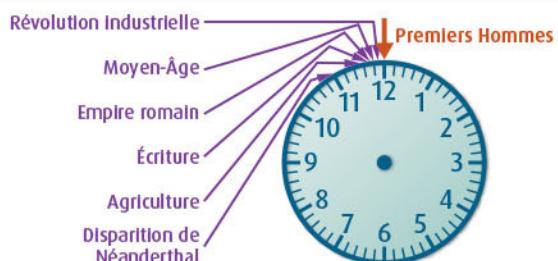
Pour en savoir plus [Site de l'ENS Lyon](#)

Menez l'enquête

Tracez une « horloge évolutive » où les 12 heures représentent la période 1750-2019, et placez-y quelques grandes évolutions technologiques.



Position relative de quelques événements de l'Histoire de la Terre sur une horloge de 12 heures.



Position relative de quelques événements de l'Histoire de l'Humanité sur une horloge de 12 heures.



Représentation d'artiste du Big Bang.



Pour en savoir plus [Article du magazine Forbes](#)

Menez l'enquête

Trouvez un autre exemple d'utilisation de l'effet Doppler pour mesurer une vitesse.

Cosmologie

L'âge de l'Univers

De même que pour la Terre, les scientifiques se sont longtemps posé la question de l'âge de l'Univers... et y ont répondu de plusieurs manières. L'une d'entre elles s'appuie sur le fait que l'Univers étant en expansion, les étoiles et les galaxies s'éloignent les unes des autres depuis le Big Bang. Si l'on peut mesurer indépendamment la vitesse d'une étoile et sa distance à la Terre, le rapport des deux est égal à la durée de déplacement de l'étoile depuis l'instant où tout était « réuni », c'est-à-dire depuis la naissance de l'Univers. La vitesse d'une étoile est mesurée par le décalage de son spectre d'émission, les ondes émises par un corps en mouvement n'ayant pas la même fréquence que celles émises par un corps immobile. C'est ce qu'on appelle l'effet Doppler. La distance d'une étoile à la Terre est déterminée en comparant la mesure de sa luminosité à sa luminosité théorique. Résultat : l'Univers est âgé de 13,8 milliards d'années, il est donc environ trois fois plus vieux que la Terre.