

Thème 3 : La Terre, un astre singulier

Chapitre II

L'histoire de l'âge de la Terre

I- L'âge de la Terre au cours du temps, un peu d'histoire des sciences

II- Détermination de l'âge de la Terre

Problème : Comment se sont succédé les idées qui ont servi de cadre à l'estimation de l'âge de la Terre ?

1ES T3 CII II

Histoire de l'âge de la Terre, les premières idées

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.

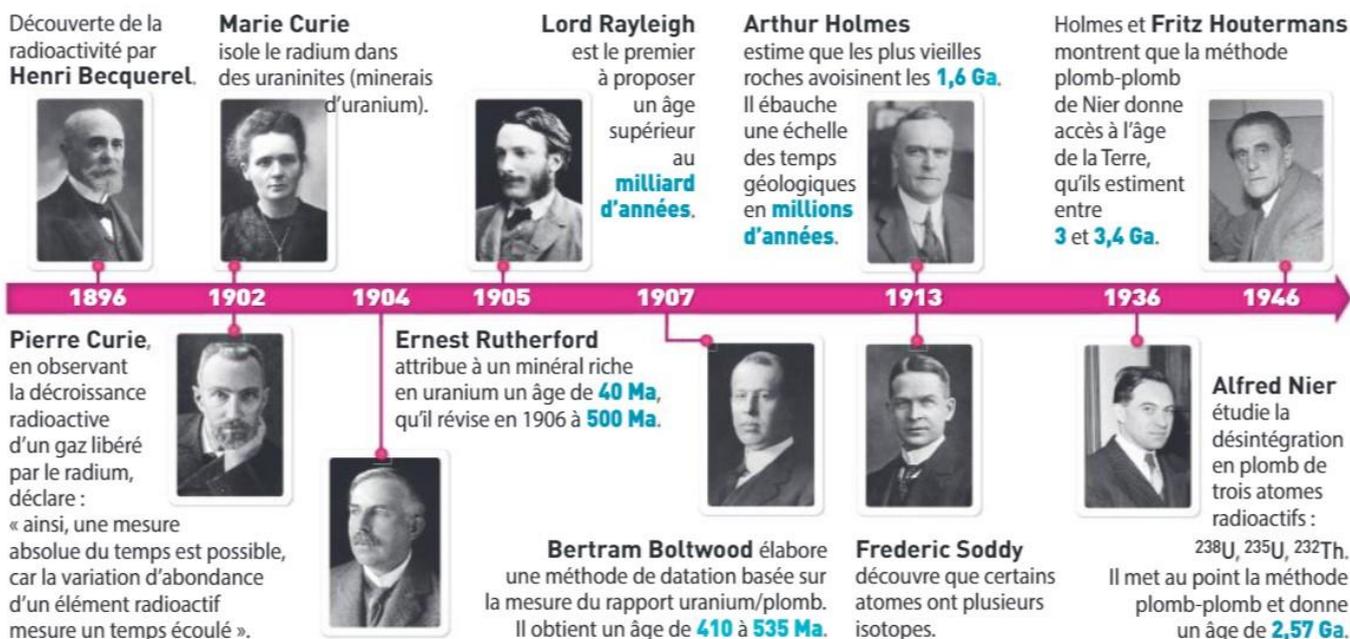
Voici comment Rutherford annonça sa découverte lors d'une conférence sur le radium :

« 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

Doc 1 : Rutherford met fin à la théorie de Kelvin sur l'âge de la Terre

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.



Note : 1 Ga = 1 milliard d'années.

Doc 2 : 50 ans de datation des roches terrestres

Les roches contiennent naturellement des isotopes radioactifs tels que ceux présentés dans le tableau ci-dessous. Un couple isotope père/isotope fils constitue un géochronomètre. La quantité de l'isotope père diminue au cours du temps (tandis que celle de l'isotope fils augmente) selon une vitesse de désintégration propre à cet isotope. Cette vitesse est caractérisée par la demi-vie, notée $t_{1/2}$. En mesurant les quantités d'isotopes père ou fils dans un échantillon, on peut donc déterminer son âge. On considère que les résultats obtenus par cette méthode de datation sont fiables pour des durées allant du millième de la demi-vie à dix fois celle-ci. Ces géochronomètres ne peuvent être utilisés que sur des roches ayant conservé depuis leur formation l'ensemble des isotopes étudiés. Il s'agit généralement de roches magmatiques.

Géochronomètre Isotope père → Isotope fils	Demi-vie $t_{1/2}$ (en années)	Remarques
$^{14}\text{C} \rightarrow ^{14}\text{N}$	5 730	S'utilise sur des fossiles.
$^{40}\text{K} \rightarrow ^{40}\text{Ar}$	$1,25 \times 10^9$	Difficile à utiliser sur des roches magmatiques refroidies en profondeur.
$^{235}\text{U} \rightarrow ^{207}\text{Pb}$	$0,7 \times 10^9$	S'utilise sur des minerais d'uranium et des zircons.
$^{238}\text{U} \rightarrow ^{206}\text{Pb}$	$4,47 \times 10^9$	
$^{232}\text{Th} \rightarrow ^{208}\text{Pb}$	14×10^9	
$^{87}\text{Rb} \rightarrow ^{87}\text{Sr}$	$48,8 \times 10^9$	S'utilise sur des roches magmatiques.
$^{147}\text{Sm} \rightarrow ^{143}\text{Nd}$	106×10^9	S'utilise sur des roches anciennes continentales.

Tableau des différents géochronomètres utilisés en géologie

Doc 3 : Les géochronomètres : différents isotopes utilisés en radiochronologie

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, est âgé de 4,4 Ga.



Doc 4 : Les plus vieilles roches formées sur Terre

Parfois, des fragments d'astéroïdes entrent dans l'atmosphère terrestre et s'écrasent sur le sol : on les appelle alors « météorites ». Pour la plupart, ces fragments proviennent de la ceinture d'astéroïdes située entre Mars et Jupiter. Comme tous les objets du Système solaire, ils se sont formés par à partir du nuage de gaz et de poussières en rotation autour de notre étoile en formation. Contrairement aux planètes, ces astéroïdes n'ont plus connu de changements géologiques depuis leur formation.

On distingue plusieurs catégories de météorites selon le type d'astéroïde dont elles sont issues :

- les chondrites sont issues d'astéroïdes non différenciés ;
- les achondrites sont issues du manteau ou de la croûte d'astéroïdes différenciés alors que les sidérites sont issues de leur noyau.

Doc 5 : L'origine des météorites

Les chondrites sont des météorites qui présentent des petites billes rocheuses appelées chondres. Le tableau compare leur composition chimique à celle de la Terre.

	Croûte		Manteau	Noyau ⁽¹⁾	Terre globale	Chondrite
	continentale	océanique				
Masse	≈ 1 %	≈ 0,3 %	≈ 65 %	≈ 33 %		
SiO ₂	≈ 65 %	≈ 50 %	≈ 45 %	0	≈ 31 %	≈ 35 %
Fe + FeS	0	0	0	≈ 80 %	≈ 26,4 %	≈ 32 %
FeO	≈ 4 %	≈ 11 %	≈ 10 %	0	≈ 6,6 %	
MgO	≈ 3 %	≈ 12 %	≈ 36 %	0	≈ 24 %	≈ 22 %
Al ₂ O ₃	≈ 15 %	≈ 14 %	≈ 3,5 %	0	≈ 2,5 %	≈ 2 %
CaO	≈ 5 %	≈ 9 %	≈ 3 %	0	≈ 2 %	≈ 1 %
Na ₂ O + K ₂ O	≈ 6 %	≈ 2,5 %	≈ 0,3 %	0	≈ 0,3 %	≈ 0,7 %

(1) Le noyau comporte aussi 20% de Ni, de Si et d'O.

Doc 6 : La composition chimique des météorites et de la Terre

En 1955, Clair Patterson, un géochimiste, applique la méthode plomb-plomb développée par Nier sur cinq météorites. Cette méthode exploite les deux géochronomètres suivants :

$^{235}\text{U} \rightarrow ^{207}\text{Pb}$ avec $t_{1/2} = 0.7 \times 10^9$ ans

$^{238}\text{U} \rightarrow ^{206}\text{Pb}$ avec $t_{1/2} = 4.47 \times 10^9$ ans.

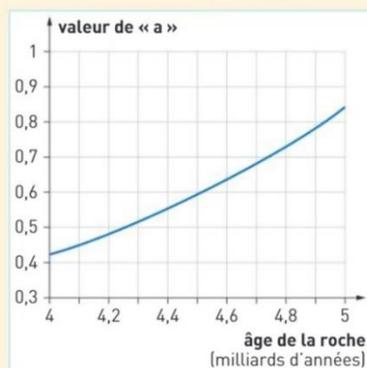
Il complète son analyse avec celle de sédiments océaniques dont il considère que les teneurs en plomb reflètent celle de la Terre. Les résultats de ses mesures sont présentés dans le tableau suivant.

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)	Certains minéraux de sédiments marins Terre
$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	9,55	9,46	50,28	19,27	19,48	19,00
$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	10,38	10,34	34,86	15,95	15,76	15,80

Tableau des rapports isotopiques mesurés sur les échantillons de Patterson

Comment dater une roche ? On mesure, pour quelques-uns de ses minéraux, les concentrations actuelles en ^{204}Pb (isotope stable), ^{206}Pb et ^{207}Pb . Les rapports $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ et $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ de chaque minéral sont les coordonnées d'un point dans le graphique $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ en fonction de $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$. La quantité de plomb radiogénique (^{206}Pb et ^{207}Pb) dépend de la quantité initiale d'uranium enfermée dans chacun des minéraux. Cette quantité étant variable d'un minéral à l'autre, on obtient un ensemble de points.

Le physicien Alfred Nier montre, à l'aide des lois de la radioactivité, que si les échantillons ont le même âge, alors ces différents points se regroupent sur une droite, d'équation $Y = aX + b$. Cette droite est appelée « isochrone », car elle relie tous les points représentatifs des échantillons ayant le même âge. Or le coefficient directeur de la droite isochrone (noté a) dépend de l'âge de la roche (voir graphique ci-contre). Dans le cas de la détermination de l'âge de la Terre, la droite obtenue s'appelle une **géochrone** (du grec *géo*, « Terre » et *chronos*, « temps ») parce que tous les points de cette droite correspondent à des échantillons du même âge : l'âge de la Terre.



La méthode plomb-plomb appliquée au cas de la Terre et des météorites

Doc 7 : Un âge pour les météorites et pour la Terre

Questions :

- Expliquer** en quoi la découverte de la radioactivité invalide les travaux de Buffon et Kelvin (doc 1) (revoir les informations sur Buffon et Kelvin dans la première partie du chapitre).
- Proposer** les géochronomètres les plus adaptés à la datation de la Terre (doc 2 et 3).
- Présenter** les difficultés rencontrées par les géologues pour dater l'âge de la Terre à partir des échantillons terrestres (doc 3 et 4).
- Rechercher** les arguments justifiant l'étude des météorites pour la détermination de l'âge de la Terre (doc 5 et 6).
- Donner** une estimation de l'âge de la Terre (doc 7).

Aide :

- Tracer un graphique des données du tableau en suivant les consignes de la méthode du doc 7.
- La pente d'une droite se calcule à partir des coordonnées de deux points A et B, et vaut $(Y_B - Y_A)/(X_B - X_A)$