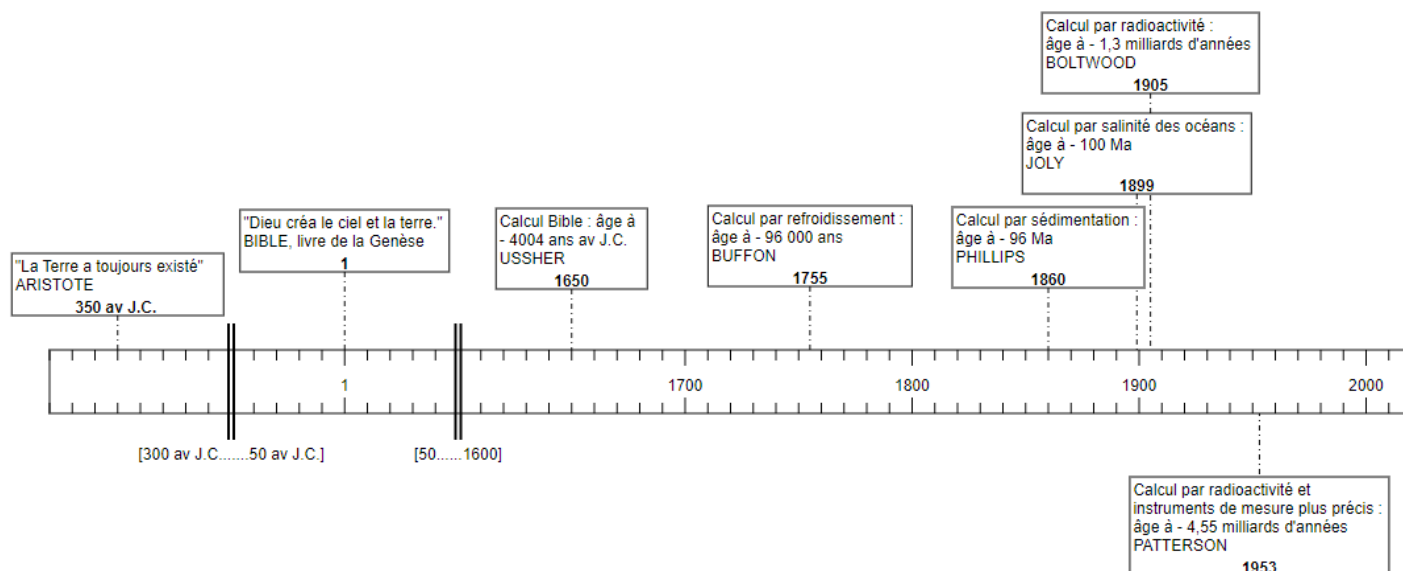


Démarches scientifiques de calcul de l'âge de la Terre

CORRECTION



Groupe	Eléments de correction	Attendus de la présentation orale
Louis XV	<p><u>Document 1</u> :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Hypothèse antique : pour Aristote la Terre a toujours existé. - Hypothèse chrétienne : Dieu a créé la Terre, l'archevêque Ussher le date à - 4004 ans, selon les éléments de la bible. <p><u>Document 2</u> : calcul de l'âge minimum de la Terre. Naissance de Noé : 1056 ans après la Création. Déluge, Noé a 600 ans : 1656 ans Il a vécu 175 ans : 1831 ans.</p>	<p><u>Compléter</u> :</p> <ul style="list-style-type: none"> - frise chronologique - tableau bilan <p><u>Argument fallacieux possible</u> :</p> <p>Postulat indémontrable</p> <p><u>Document à vidéoprojeter</u> :</p> <p>Calcul de l'âge de la Terre d'après la Bible.</p>
Buffon	<p><u>Document</u> : Voir fichier calc (excel) CalculBuffon</p> <p>1) Taille (demi pouce) x (2,54/2) = Taille (cm) Taille (cm) / 100 = Taille (m)</p> <p>2) 1 an = 60 min x 24 h x 365,25 jours 1 an = 525 960 min 1 min = 1 / 525 960 = $1,9 \cdot 10^{-6}$ an Temps Refroidissement (ans) = $1,9 \cdot 10^{-6}$ x Temps Refroidissement (minutes)</p> <p>3+4) Voir fichier calc (excel) CalculBuffon</p> <p>5) x est l'axe des abscisses : ici le diamètre du boulet de fer (sphère) (m). y est l'axe des ordonnées : ici le temps de refroidissement lorsque le boulet est à température ambiante (années). b est le point d'intersection de la courbe avec l'axe des ordonnées. La valeur négative est négligeable, résultat de l'aspect expérimental.</p> <p>6) On cherche y lorsque x = diamètre de la Terre = $12742 \cdot 10^3$ m. $y = 0,0080225245 \times 12742 \cdot 10^3 - 3,06534 \cdot 10^{-5}$ y = 95652 ans</p>	<p><u>Compléter</u> :</p> <ul style="list-style-type: none"> - frise chronologique <p><u>Critique de la méthode</u> :</p> <p>Rigueur dans la mesure de la taille des boulets en fer forgé. Problème pour la taille (ici maximum 12,7 cm) : les calculs d'extrapolation à la taille de la Terre n'est pas correcte. Mesure de la température peu rigoureuse : sensation du toucher.</p> <p><u>Document à vidéoprojeter</u> :</p> <p>Graphique obtenu avec l'équation affichée. Calcul de l'âge de la Terre d'après le modèle du refroidissement.</p>
	<p><u>Document</u> :</p> <p>1) Bassin sédimentaire : 777 000 km² soit 777 000 000 000 m². Or apport sédimentaire de 180 323 871 m³/an.</p>	<p><u>Compléter</u> :</p> <ul style="list-style-type: none"> - frise chronologique

Phillips	<p>2) Donc temps vitesse d'accumulation (en m/an) = apport annuel / surface du bassin = $2.3 \cdot 10^{-4}$ m/an.</p> <p>3) Pour accumuler 22km ($=22 \cdot 10^3$m), t = hauteur de sédiments / vitesse d'accumulation = $22 \cdot 10^3 / 2.3 \cdot 10^{-4} = 95\,652\,173$ ans.</p> <p>4) Or taux de compaction 25% pour les argiles donc épaisseur déposée = $22 \cdot 10^3 \cdot 1.25 = 27.5 \cdot 10^3$km. Recalcul $t = 27.5 \cdot 10^3 / 2.3 \cdot 10^{-4} = \mathbf{119\,565\,217\,ans.}$</p>	<p><u>Document à vidéoprojecter</u> :</p> <p>Schéma des colonnes sédimentaires avant/après compaction + valeurs calculées. Calcul de l'âge de la Terre d'après le modèle du refroidissement.</p>
Joly	<p><u>Document</u> :</p> <p>1) NaCl : Na⁺ : sodium ; Cl⁻ : chlore</p> <p>2) L'eau de pluie ruissèle par gravité jusqu'à une vallée : se forme alors une rivière d'eau douce. Lors du ruissellement de l'eau, elle emporte les minéraux des roches, tels que le sodium, potassium...qui se retrouvent au final dans les océans. L'eau de mer s'évapore, ce qui concentre les ions et ainsi de suite.</p> <p>3) Calcul de la masse de chlorure de sodium : $m(\text{NaCl}) = 1,33 \cdot 10^{21} \times 0,035 \times 77,8/100 = 3,6 \cdot 10^{19}$ kg.</p> <p>4) Calcul de la masse molaire de chlorure de sodium : $M(\text{NaCl}) = 23,0 + 35,5 = 58,5$ g.mol⁻¹ et Calcul du pourcentage de sodium dans une mole de NaCl : $M(\text{Na}) = 23,0$ g.mol⁻¹. Le pourcentage de Na est donc : $23,0 / 58,5 = 0,393$ soit 39,3 %.</p> <p>5) Calcul de la masse de sodium contenue dans les océans : $M(\text{Na}) = 0,393 \times 3,6 \cdot 10^{19} = 1,42 \cdot 10^{19}$ kg</p> <p>6) Calcul de l'âge des océans : Age des océans = $\frac{\text{masse de sodium totale dans l'océan}}{\text{masse sodium apporté dans l'océan pendant 1 an}}$ $t = 1,42 \cdot 10^{19} / 1,43 \cdot 10^{11} = \mathbf{9,93 \cdot 10^7 \text{ années}}$ soit environ 100 Ma</p>	<p><u>Compléter</u> :</p> <p>- frise chronologique</p> <p><u>Document à vidéoprojecter</u> :</p> <p>Calcul de l'âge de la Terre d'après la quantité de sodium dans l'océan.</p>
Boltwood	<p><u>Document</u> :</p> <p>1. $Nu(0) = 5 \cdot 10^{12}$ noyaux. 2. $T = 6,5 \cdot 10^9$ ans</p> <p>$\frac{1}{T} = 1/T = 1,5 \cdot 10^{-10} \text{ an}^{-1}$.</p> <p>3. $Nu(t) = Nu(0) \cdot e^{-\frac{t}{T}}$</p> <p>$Nu(t_1) = Nu(0) \cdot e^{-\frac{t_1}{T}} = 5 \cdot 10^{12} \cdot e^{-1,5 \cdot E(-10) \cdot 1,5 E(9)} = 4 \cdot 10^{12}$ noyaux.</p> <p>4. $T_{1/2} = 4,5 \cdot 10^9$ ans. 5. $N_{Pb}(t) = 1,2 \cdot 10^{12}$ $N_0 = N_U(t) + N_{Pb}(t)$ $Nu(t) = N_0 - N_{Pb}(t) = 5 \cdot 10^{12} - 1,2 \cdot 10^{12} = 3,8 \cdot 10^{12}$.</p> <p>$t = (\ln (Nu(t)/Nu(0))) / -\frac{1}{T} = \mathbf{1,8 \cdot 10^9 \text{ ans.}}$</p>	<p><u>Compléter</u> :</p> <p>- frise chronologique</p> <p><u>Document à vidéoprojecter</u> :</p> <p>Calcul de l'âge de la Terre d'après la radiochronologie.</p>

L'équation de désintégration radioactive du rubidium est : ${}^{87}_{37}\text{Rb} \rightarrow {}^0_{-1}\bar{e} + {}^{87}_{38}\text{Sr}$

$$\lambda = \frac{\ln 2}{t_{1/2}} \Rightarrow t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$$

On a :

soit $t_{1/2} = 48,8 \text{ Ga}$: on peut donc utiliser cet isotope ! En effet, pour dater un échantillon, il faut commencer par choisir l'isotope radioactif à utiliser selon l'âge à déterminer. La durée à mesurer doit être comprise entre un centième et dix fois la demi-vie de l'isotope sinon tous les noyaux seront désintégrés et toute mesure sera impossible. De plus cet isotope ne doit pas être lui-même radiogénique (c'est-à-dire issu d'une désintégration radioactive).

2. La quantité de ${}^{87}_{37}\text{Rb}$ présent actuellement suit la loi de décroissance radioactive :

$${}^{87}\text{Rb}(\text{actuel}) = {}^{87}\text{Rb}(0) e^{-\lambda t} \Rightarrow {}^{87}\text{Rb}(0) = {}^{87}\text{Rb}(\text{actuel}) e^{\lambda t}$$

3. La quantité de strontium ${}^{87}\text{Sr}(t)$ radiogénique produit par la désintégration radioactive correspond au nombre de désintégrations subies par le rubidium ${}^{87}\text{Rb}$. On a donc :

$${}^{87}\text{Sr}(t) = {}^{87}\text{Rb}(0) - {}^{87}\text{Rb}(\text{actuel})$$

4. La quantité de strontium 87 présent actuellement dans une roche ${}^{87}\text{Sr}(\text{actuel})$ est la somme du strontium 87 présent à l'origine ${}^{87}\text{Sr}(0)$ et du strontium 87 radiogénique ${}^{87}\text{Sr}(t)$ produit par la désintégration radioactive.

On a donc :

$${}^{87}\text{Sr}(\text{actuel}) = {}^{87}\text{Sr}(0) + {}^{87}\text{Sr}(t)$$

5. On a

$${}^{87}\text{Sr}(t) = {}^{87}\text{Rb}(0) - {}^{87}\text{Rb}(\text{actuel})$$

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

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

D'où :

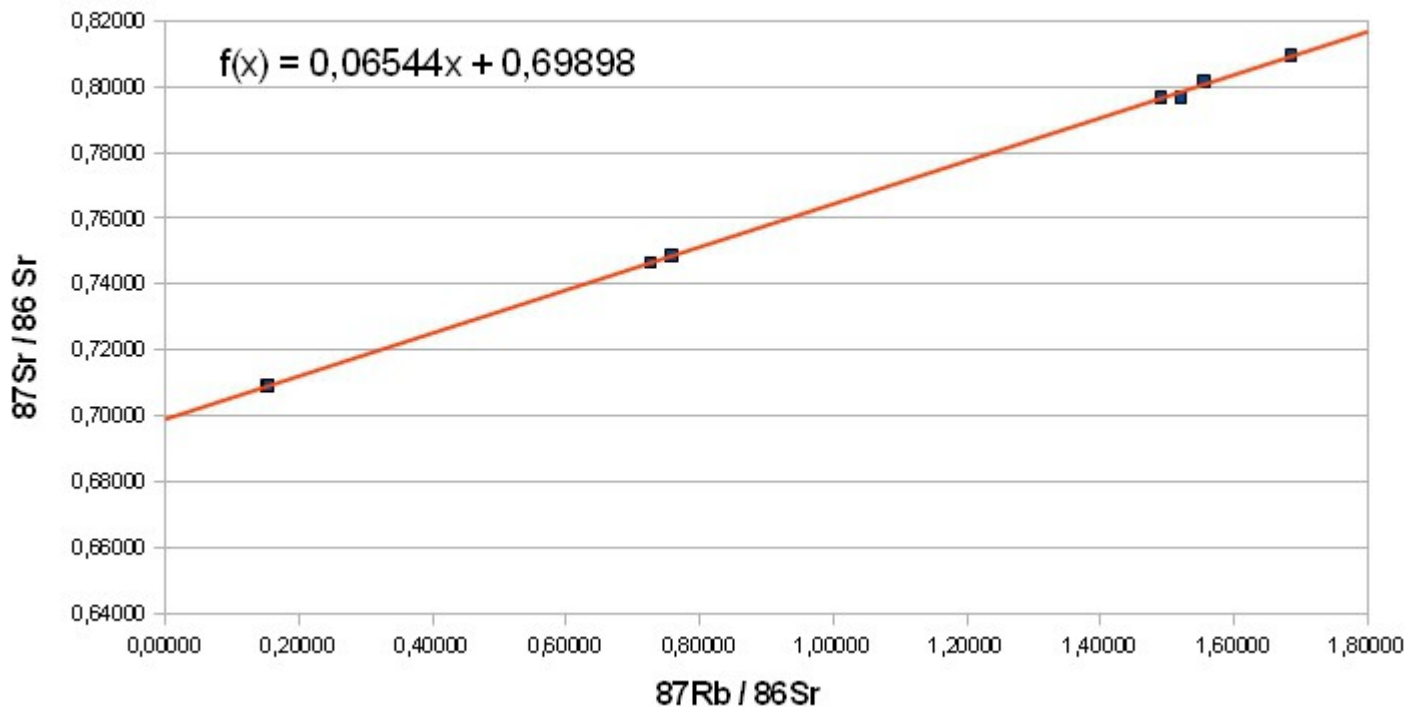
$${}^{87}\text{Sr}(\text{actuel}) = {}^{87}\text{Sr}(0) + {}^{87}\text{Rb}(\text{actuel}) \times (e^{\lambda t} - 1)$$

6. On sait que le rapport isotopique $\frac{{}^{87}\text{Sr}(0)}{{}^{86}\text{Sr}(0)}$ est constant dans tous les minéraux d'une même roche (la cristallisation s'est faite à partir de la même source de strontium) et que la quantité de strontium 86 (**${}^{86}\text{Sr}$**) est constante au cours du temps car cet isotope n'est ni radiogénique ni radioactif. On la note ${}^{86}\text{Sr}(\text{actuel})$. On divise alors chaque membre de la relation précédente par ${}^{86}\text{Sr}(\text{actuel})$ (étape de normalisation) et on obtient la relation cherchée :

$$\frac{{}^{87}\text{Sr}(\text{actuel})}{{}^{86}\text{Sr}(\text{actuel})} = \frac{{}^{87}\text{Sr}(0)}{{}^{86}\text{Sr}(\text{actuel})} + \left(\frac{{}^{87}\text{Rb}(\text{actuel})}{{}^{86}\text{Sr}(\text{actuel})} \right) \times (e^{\lambda t} - 1)$$

7.8. et 9. Le tableur permet de construire la courbe suivante, d'en obtenir par régression linéaire (il faut insérer la courbe de tendance), l'ordonnée à l'origine et la pente.

Courbe isochrone des chondrites



Il s'agit d'une courbe **isochrone** (du grec *isos* = le même et *khronos* = le temps). Le nom vient du fait que cette droite relie des échantillons du même âge. La bonne linéarité de la courbe de tendance indique que le système n'a pas subi de réouverture depuis sa fermeture. Vous pouvez obtenir le fichier au format Open Office en cliquant [ici](#).

10. La pente de la droite correspond à la valeur de $e^{\lambda t} - 1$ et nous permet ainsi de déterminer l'âge t des météorites (qui correspond en fait au temps écoulé depuis la fermeture du système) :

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

avec $\lambda = 1,42 \cdot 10^{-11} \text{ an}^{-1}$ ce qui donne : **$t = 4,463$ milliards d'années**

L'ordonnée à l'origine de la droite de régression correspond au rapport d'abondance

isotopique $\frac{^{87}\text{Sr}(0)}{^{86}\text{Sr}(\text{actuel})}$ qui vaut **0,69898**.

Le système Rb-Sr appliqué aux chondrites ne permet pas de dater la Terre mais les chondrites : il fournit l'âge Rb-Sr du système solaire. Cette détermination est moins précise que celle donnée par la méthode Pb-Pb.

Comme beaucoup d'autres méthodes de datation, la méthode plomb-plomb est délicate à mettre en œuvre ; et cela d'autant plus que la plupart des météorites ne contiennent que peu de plomb (souvent de l'ordre de 1 ppm !). De plus, les échantillons peuvent être facilement contaminés par le plomb présent dans l'environnement. Pourtant, malgré les difficultés de mise en œuvre, on préfère se référer à cette méthode parce que la détermination des âges Pb-Pb est bien plus précise que la détermination des âges Rb-Sr ou K-Ar.

- Déjà, les constantes de désintégration des isotopes impliqués dans ces autres méthodes sont plus faibles et connues avec une précision moindre ($\lambda = 1,42 \cdot 10^{-11} \text{ an}^{-1}$ pour le rubidium 87). Les demi-vies de ces isotopes sont donc plus longues : $t_{1/2} (^{87}\text{Rb}) = 48,8 \text{ Ga}$ alors que $t_{1/2} (^{235}\text{U}) = 0,7 \text{ Ga}$. Cela implique que, sur une période de 4,6 Ga, la décroissance radioactive du ^{87}Rb est très faible alors que 99 % de la décroissance aura eu lieu pour ^{235}U .

- De plus, la détermination de l'âge plomb-plomb implique uniquement la mesure des compositions isotopiques d'un même élément chimique alors que les autres méthodes impliquent la détermination du rapport des abondances chimiques des éléments père et fils (éléments différents). Cela présente deux avantages : des mesures plus précises puisqu'on travaille sur un même élément et moins de fractionnement chimique. L'incertitude analytique est donc très faible pour la méthode plomb-plomb et elle n'a cessé de s'amenuiser. Sur les 25 dernières années, en travaillant sur la datation Pb-Pb des inclusions réfractaires des chondrites carbonées (comme la météorite Allende), on est passé d'une incertitude analytique de 4 Ma à 200 000 ans (progrès de la spectrométrie de masse et des procédés chimiques d'analyse). Elle est aujourd'hui inférieure à 0,3 % pour la méthode Pb-Pb alors qu'elle est de 1 % pour les méthodes impliquant les autres radioactivités longues (soit 50 Ma environ).

Source : <http://acces.ens-lyon.fr/acces/thematiques/limites/Temps/datation-isotopique/enseigner/correction-de-lactivite-datation-de-chondrites-par-la-methode-isochrone>

Bilan :

L'âge de la Terre devient un sujet de controverse à partir du XVIII^e siècle : les démarches scientifiques s'accumulent sans faire consensus: méthodes du refroidissement, l'empilement sédimentaire, salinité des océans et l'évolution biologique.

Les techniques et connaissances des sciences se développent : la découverte de la radioactivité permet, par la suite, d'élaborer une méthode d'estimation de l'âge de la Terre par radiochronologie. Les météorites étant les résidus de la formation du système solaire – et donc de la formation de la Terre – Patterson réalise la datation d'une météorite à 4,55 milliards d'années (Ga).

Les sciences construisent et perfectionnent peu à peu sa compréhension de la nature : élaboration d'une théorie (c'est-à-dire un modèle appuyé par des expériences reproductibles) qui doit être réfutable. Si la théorie résiste aux contre-arguments, explique les faits observés, elle est considérée comme vraie.