

Histoire d'eau : deux méthodes historiques permettant d'estimer l'âge de la Terre

Enseignement scientifique première

Durée 1h – 10 points – Thème « La Terre, un astre singulier »

Deux approches ont permis d'estimer l'âge de la Terre au cours du XIXe siècle. La première utilise la mesure de la salinité de l'eau des océans tandis que la seconde se base sur l'étude des phénomènes de sédimentation et d'érosion.

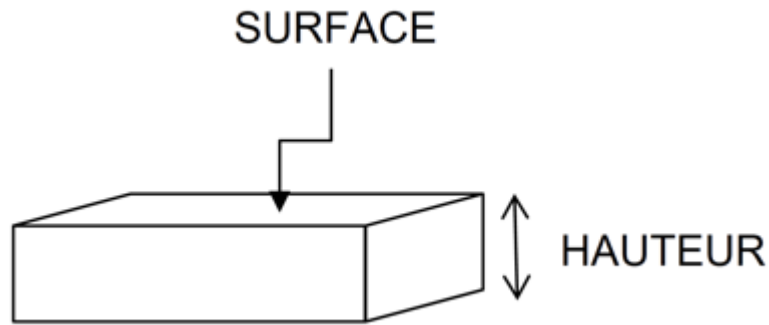
Partie 1. Estimation de l'âge de la Terre à l'aide de la salinité des eaux de mer

À la toute fin du XIXe siècle, le physicien irlandais John Joly proposa une méthode d'estimation de l'âge de la Terre basée sur le taux de sel dans les océans : la salinité.

Les eaux de pluie ruissellent à la surface de la Terre et se chargent en sel contenu dans les roches de la croûte terrestre pour ensuite alimenter les rivières qui, à leur tour, se déversent dans les océans. La quantité de sel dissous dans les océans résulterait donc du déversement du sel contenu dans les rivières.

La première question porte sur le calcul de la masse de sel contenue dans les océans.

1-a Calculer, en km^3 , le volume total des océans modélisés sous la forme d'un parallélépipède rectangle (cf. schéma ci- contre).



Données utilisées par John Joly :

- Superficie totale des océans : $360 \times 10^6 \text{ km}^2$
- Profondeur moyenne des océans : 3,797 km
- Masse volumique moyenne des océans : $1,03 \times 10^9$ tonnes par km^3
- L'eau des océans contient environ 1,07 % en masse de sel dissous
- Déversement des rivières dans les océans : $2,72 \times 10^4 \text{ km}^3$ par an
- Concentration moyenne du sel dissous dans les rivières : 5 250 tonnes par km^3

Volume total des océans = $V = S \times h$

$$V = 360 \times 10^6 \times 3,797$$

$$V = 1,37 \times 10^9 \text{ km}^3$$

1-b Calculer la masse totale des océans en tonnes.

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$\frac{m}{V} = \rho$$

$$m = \rho \times V$$

$$m = 1,03 \times 10^9 \times 1,37 \times 10^9$$

$$m = 1,41 \times 10^{18} \text{ tonnes}$$

1-c En déduire que la masse de sel contenue dans les océans est de $1,5 \times 10^{16}$ tonnes environ. On fera apparaître le calcul.

L'eau des océans contient environ 1,07 % en masse de sel dissous

100%	$1,41 \times 10^{18}$ tonnes
1,07%	masse de sel dissous

$$\text{masse de sel dissous} = \frac{1,07 \times 1,41 \times 10^{18}}{100}$$

$$\text{masse de sel dissous} = 1,51 \times 10^{16}$$

2- Calculer la masse de sel apportée chaque année par les rivières à l'océan.

D'après l'énoncé :

Déversement des rivières dans les océans : $2,72 \times 10^4 \text{ km}^3$ par an

Concentration moyenne du sel dissous dans les rivières : 5 250 tonnes par km^3

5 250 tonnes par km^3	1 km^3
masse de sel apportée chaque année par les rivières à l'océan	$2,72 \times 10^4 \text{ km}^3$

$$\text{masse de sel apportée chaque année par les rivières à l'océan} = \frac{2,72 \times 10^4}{1}$$

$$\text{masse de sel apportée chaque année par les rivières à l'océan} = 1,43 \times 10^8$$

3- En déduire, comme l'a fait John Joly, que l'âge de la Terre calculé par cette méthode est d'environ 100 millions d'années.

1 année	$1,43 \times 10^8$ tonnes de sel
âge de la Terre	$1,51 \times 10^{16}$ tonnes de sel

$$\text{âge de la Terre} = \frac{1,51 \times 10^{16} \times 1}{1,43 \times 10^8}$$

$$\text{âge de la Terre} = 1,05 \times 10^8 \text{ années}$$

$$\text{âge de la Terre} = 105 \times 10^6 \text{ années}$$

$$\text{âge de la Terre} = 105 \text{ millions d'années}$$

L'âge de la Terre calculé par cette méthode est d'environ 100 millions d'années.

4- En réalité, une partie du sel dissous subit une sédimentation dans certaines régions littorales et peut également être échangé avec du calcium lors de l'altération sous-marine du basalte. Commenter la validité de la méthode de calcul proposée par John Joly.

Une partie du sel dissous subit une sédimentation dans certaines régions littorales : la quantité de sel présente dans la mère est sous estimée donc la méthode de calcul proposée par John Joly sous estime l'âge de la terre.

Une partie du sel dissous peut également être échangé avec du calcium lors de l'altération sous-marine du basalte : la quantité de sel présente dans la mère est sous estimée donc la méthode de calcul proposée par John Joly sous estime l'âge de la terre.

Pour ces deux raisons, la méthode de calcul proposée par John Joly ne donne pas un âge de la terre valide.

Partie 2. Érosion et sédimentation

Document 1 : un exemple de destruction due à l'érosion

Le "Grind of the Navir" correspond à une ouverture faite par la mer dans une falaise des îles Shetland. Cette ouverture est élargie d'hiver en hiver par la houle qui s'y engouffre.



Extrait de la sixième édition de *Principles of geology* (1833) par Charles Lyell

Document 2 : l'argument des temps de sédimentation et d'érosion par Charles Darwin

« Ainsi que Lyell l'a très justement fait remarquer, l'étendue et l'épaisseur de nos couches de sédiments sont le résultat et donnent la mesure de la dénudation¹ que la croûte terrestre a éprouvée ailleurs. Il faut donc examiner par soi-même ces énormes entassements de couches superposées, étudier les petits ruisseaux charriant de la boue, contempler les vagues rongant les antiques falaises, pour se faire quelque notion de la durée des périodes écoulées [...]. Il faut surtout errer le long des côtes formées de roches modérément dures, et constater les progrès de leur désagrégation. [...] Rien ne peut mieux nous faire concevoir ce qu'est l'immense durée du temps, selon les idées que nous nous faisons du temps, que la vue des résultats si considérables produits par des agents atmosphériques² qui nous paraissent avoir si peu de puissance et agir si lentement. Après s'être ainsi convaincu de la lenteur avec laquelle les agents atmosphériques et l'action des vagues sur les côtes rongent la surface terrestre, il faut ensuite, pour apprécier la durée des temps passés, considérer, d'une part, le volume immense des rochers qui ont été enlevés sur des étendues considérables, et, de l'autre, examiner l'épaisseur de nos formations sédimentaires. [...]

J'ai vu, dans les Cordillères [une chaîne de montagnes], une masse de conglomérats³ dont j'ai estimé l'épaisseur à environ 10 000 pieds [3 km] ; et, bien que les conglomérats aient dû probablement s'accumuler plus vite que des couches de sédiments plus fins, ils ne sont cependant composés que de cailloux roulés et arrondis qui, portant chacun l'empreinte du temps, prouvent avec quelle lenteur des masses aussi considérables ont dû s'entasser. [...] M. Croll démontre, relativement à la dénudation produite par les agents atmosphériques, en calculant le rapport de la quantité connue de matériaux sédimentaires que charrient annuellement certaines rivières, relativement à l'étendue des surfaces drainées, qu'il faudrait six millions d'années pour désagréger et pour enlever au niveau moyen de l'aire totale qu'on considère une épaisseur de 1 000 pieds [305 mètres] de roches. Un tel résultat peut paraître étonnant, et le serait encore si, d'après quelques considérations qui peuvent faire supposer qu'il est exagéré, on le réduisait à la moitié ou au quart. Bien peu de personnes, d'ailleurs, se rendent un compte exact de ce que signifie réellement un million ».

Extrait "Du laps de temps écoulé, déduit de l'appréciation de la rapidité des dépôts et de l'étendue des dénudations", *L'origine des espèces*, Charles Darwin, p. 393-398 (1859).

1 – La dénudation correspond à l'effacement des reliefs par érosion.

2 – Les agents atmosphériques désignent les agents responsables de l'érosion comme la pluie, le gel, le vent.

3 – Un conglomérat est une roche issue de la dégradation mécanique d'autres roches et composée de sédiments liés par un ciment naturel.

5- Expliquer la démarche utilisée par C. Darwin permettant d'estimer un âge minimal pour la Terre. La réponse ne doit pas excéder une demi-page.

Démarche utilisée par C. Darwin permettant d'estimer un âge minimal pour la Terre :

Charles Darwin observe les couches de sédiments et leur dégradation.

Ces dégradations sont le résultat produit par la pluie, le gel et le vent qui agissent lentement.

Pour trouver le temps nécessaire à cette érosion il faut :

- Evaluer le volume immense des rochers qui ont été enlevés
- Evaluer l'épaisseur des formations sédimentaires.

Par exemple considérant une chaîne de montagnes. Charles Darwin évalue l'épaisseur des formations sédimentaires à 3km. Il s'appuie sur les résultats de M. Croll qui démontre qu'il faudrait six millions d'années pour désagréger une épaisseur de 305 mètres de roches.

Ainsi, la terre a un âge minimal de six millions d'années.

6- Commenter les résultats obtenus par ces deux méthodes au regard de l'âge de la Terre estimé aujourd'hui.

Actuellement l'âge de la Terre est estimé à 4,5 milliards d'années.

Les deux méthodes étudiées aboutissent à des âges éloignés de l'âge de la Terre est estimé aujourd'hui.