

Thème 3 : La Terre : un astre singulier



L'histoire de l'âge de la Terre



Introduction

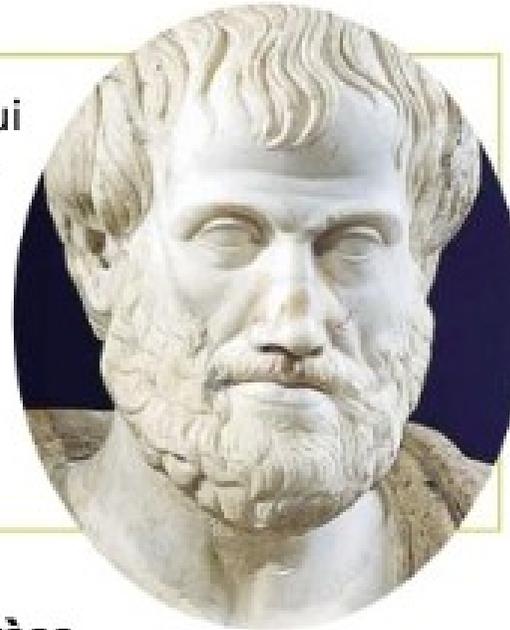
1°) Les premières estimations de l'âge de la Terre

2°) Les controverses du XIX^e siècle

3°) Le XX^e siècle et l'horloge radioactive

Introduction

« 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.).

Dans l'antiquité grecque, Aristote et Platon pensaient que **la Terre et les étoiles existaient de toute éternité** : l'origine de la terre était une idée inconcevable.

Au cours des siècles, les êtres humains ont pu observer les étoiles qui meurent et qui naissent, et avec elles leur système de planètes. Le système solaire a donc une histoire avec un début

Comment la connaissance de l'âge de la terre s'est-elle construite ?

Introduction

1°) Les premières estimations de l'âge de la Terre

2°) Les controverses du XIX^e siècle

3°) Le XX^e siècle et l'horloge radioactive

A la renaissance les connaissances reposaient surtout sur les récits religieux

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.

James Ussher (1581-1656)

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

Johannes Kepler (1571-1630)

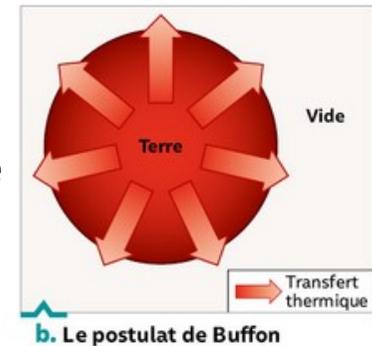
- ▶ Astronome allemand qui a établi trois lois décrivant le mouvement des planètes autour du Soleil. Ces lois dites de Kepler sont aujourd'hui encore admises par la communauté scientifique.
- ▶ Date proposée : **3993 av. J.-C.**

Au XVIII^e siècle émergent les premières démarches scientifiques



Buffon : naturaliste et mathématicien français
(1707 – 1788)

La terre est une sphère
pleine qui se refroidit
vers l'extérieur



Doc. 11 La méthode expérimentale de Buffon

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.



Exercice 1: calcul de l'âge de la terre à partir des données recueilli par Buffon

Doc. 12 Buffon face à la pression des théologiens

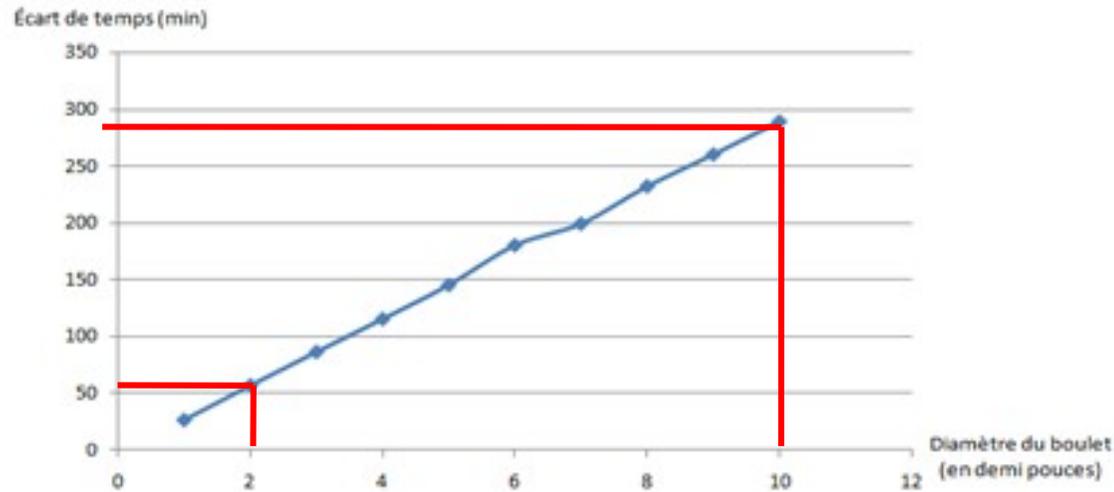
Dans une première publication, *Les Époques de la nature*, en 1779, Buffon annonce ainsi que la Terre doit avoir 25 000 ans, un âge bien plus important que celui admis alors par l'Église. La hardiesse de la pensée de Buffon, pour l'époque, confine à la témérité. D'ailleurs, à la sortie de son ouvrage, 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.

Exercice 1: calcul de l'âge de la terre à partir des données recueilli par Buffon

1) a) Je prends deux points éloignés l'un de l'autre :



Point C : $Y_C = 50$ et $X_C = 2$

Point D : $Y_D = 290$ et $X_D = 10$

J'applique ensuite la formule présentée dans l'énoncé : **$a = (y_2 - y_1 / x_2 - x_1)$**

Résultat : $a = (290 - 50 / 10 - 2) = 30$

$a = 30$

b) j'applique maintenant l'équation de la droite : $y = ax + b$

$$y = 30 \times 941\,461\,920 + (-0.43)$$

négligeable

$$y = 28243857600 \text{ minutes}$$

$$y = 470730960 \text{ heures}$$

$$y = 19613790 \text{ jours}$$

$$y = 53736 \text{ années}$$

Introduction

1°) Les premières estimations de l'âge de la Terre

2°) Les controverses du XIX^e siècle

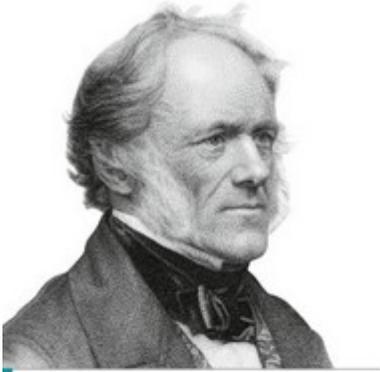
3°) Le XX^e siècle et l'horloge radioactive

Au XIX^e siècle, les approches scientifiques se développent et conduisent à une controverse qui oppose **Darwin et Kelvin**.

Les géologues, le biologiste Charles Darwin

proposent des âges de plusieurs centaines de millions d'années.

Les arguments des géologues



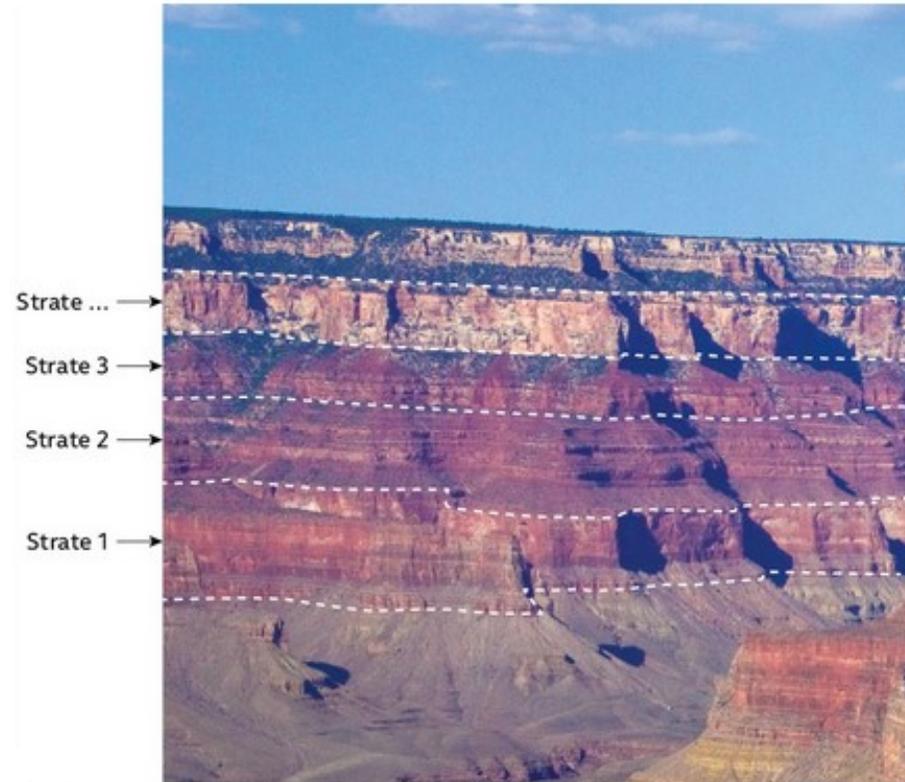
Sir Charles Lyell
Géologue britannique (1797-1875).

Charles Lyell, ami proche de Darwin, est le premier à avoir identifié les strates sédimentaires en fonction de leur contenu en fossiles.

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 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.



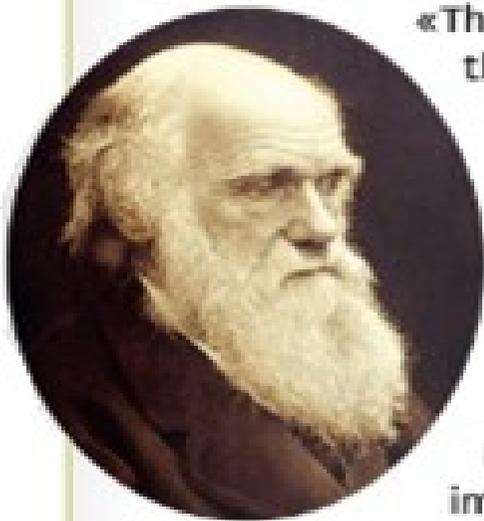
Paysage du Grand Canyon, Arizona, États-Unis

Ces falaises pouvant atteindre 1600 mètres de hauteur sont constituées d'empilements de roches sédimentaires, nommées « strates ». Ces structures se sont formées par des dépôts successifs de sédiments (la strate 1 s'est déposée avant la strate 2, etc.).

L'approche de Charles Darwin

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 continuelles 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.»

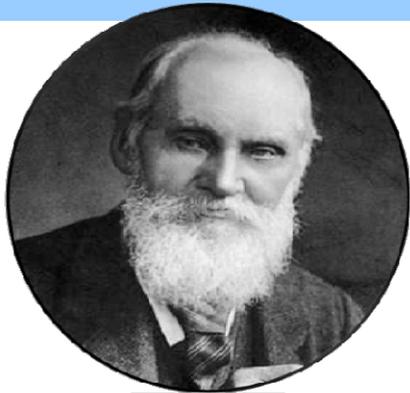
Lettre au naturaliste Alfred R. Wallace,
14 avril 1869.

«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.

Charles Darwin estime que les fossiles témoignent de l'évolution des espèces, et que celle-ci requiert des durées bien supérieures à l'âge de la terre estimé par les physiciens.

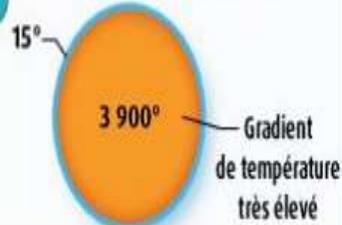
L'approche de Lord Kelvin



Lord Kelvin

Hypothèses

1 Terre après sa formation

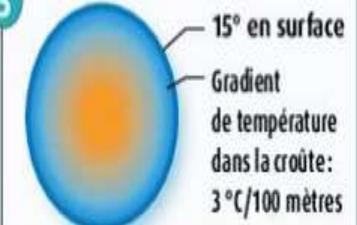


2

- La Terre s'est refroidie par conduction
- La Terre est rigide (aucun transport de matière)

3

Terre actuelle



Raisonnement

L'équation de la chaleur établie par Fourier peut s'appliquer à la Terre

Résultats

- 1862 → Âge de la Terre ≈ 20 à 400 millions d'années
- 1897 → Âge de la Terre ≈ 20 à 40 millions d'années

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.

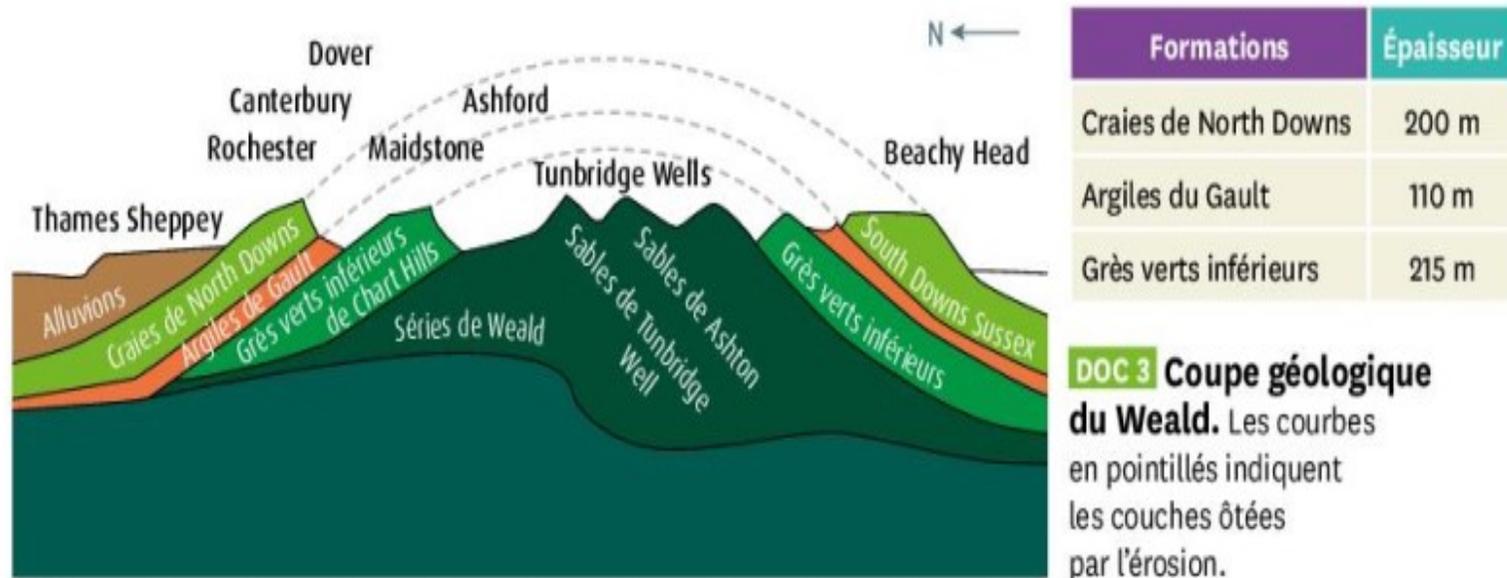
Kelvin, élabore un modèle mathématique du refroidissement de la Terre: il estime la valeur nécessaire pour que le gradient géothermique atteigne sa valeur actuelle de $30^{\circ}\text{C}/\text{km}$ => il propose un temps de 20 à 40 millions.

Ses arguments mathématiques semblent impossibles à mettre en défaut.

Exercice 2: Calculer le temps nécessaire à la formation d'une vallée

Exercice 2

1. Lyell énonce le **principe d'actualisme**, qui permet à Darwin de proposer que les phénomènes d'érosion qu'il observe se sont produits de la même manière dans le passé. Il peut donc appliquer dans ses calculs un taux d'érosion estimé au moment de ses observations.



Exercice 2

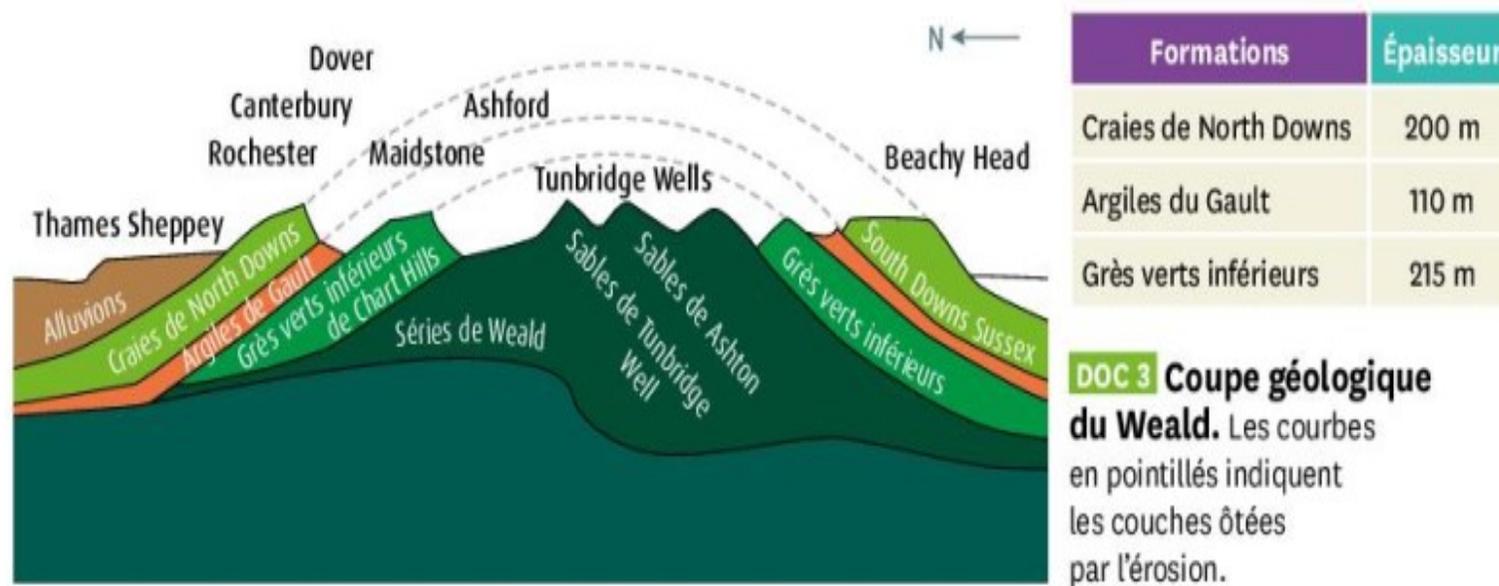
2. Épaisseur totale des formations sédimentaires du Weald:

$$200 + 110 + 215 = 525 \text{ m soit } 525\,000 \text{ mm}$$

en appliquant le taux d'érosion de $20 \text{ mm}/1\,000 \text{ ans}$ on peut calculer la durée nécessaire pour éroder cet ensemble de formations.

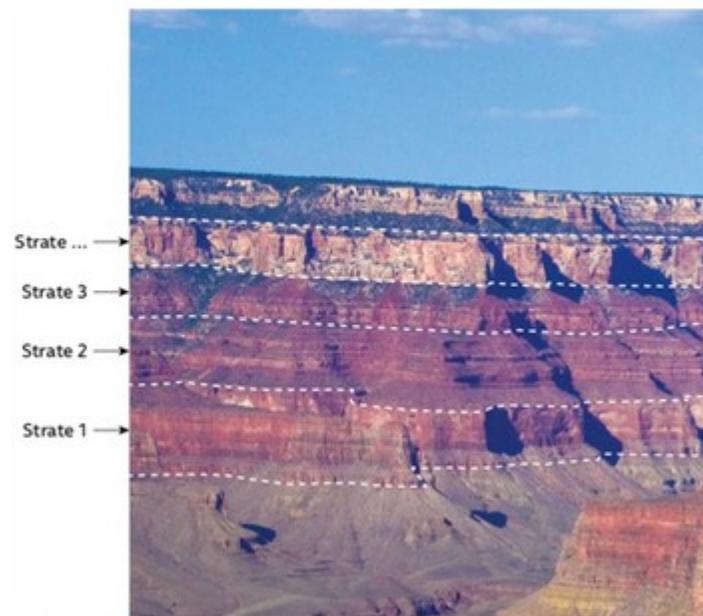
$$t = \frac{525\,000}{20} \times 1\,000 = 26\,250\,000$$

soit un peu plus de **26 Ma**.



Darwin avait proposé 300 Ma, soit pratiquement 10 fois plus que notre résultat. Cela pourrait être lié au taux d'érosion qu'il a utilisé.

| Date | Auteur | Épaisseur des sédiments (km) | Taux de sédimentation (en km / Ma) | Durée de sédimentation = âge de la Terre (en Ma) |
|------|--------------|------------------------------|------------------------------------|--|
| 1860 | Phillips | 22 | 0,23 | |
| 1890 | De Lapparent | 45 | 0,5 | |
| 1892 | Geike | 30 | 0,4 | |
| 1893 | Upham | 80 | 0,8 | |
| 1900 | Sollas | 81 | 3,1 | |
| 1909 | Sollas | 102 | 1,27 | |



Paysage du Grand Canyon, Arizona, États-Unis

Ces falaises pouvant atteindre 1600 mètres de hauteur sont constituées d'empilements de roches sédimentaires, nommées «strates». Ces structures se sont formées par des dépôts successifs de sédiments (la strate 1 s'est déposée avant la strate 2, etc.).

3 Calculer l'âge de la Terre de chacun des scientifiques.

| | | | |
|--------------|-----|------|--------|
| Philips | 22 | 0.23 | 95.6Ma |
| De Lapparent | 45 | 0.5 | 90Ma |
| Geike | 30 | 0.4 | 75Ma |
| Upham | 80 | 0.8 | 100Ma |
| Sollas | 81 | 3.1 | 26Ma |
| Sollas | 102 | 1.27 | 80Ma |