

Travaux dirigés de Géochronologie

12/12/2001

Auteur(s) :

Stéphanie Duchêne

Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques de Nancy

Publié par :

Benoît Urgelli

Résumé

Série d'exercices corrigés sur la datation.

Table des matières

- [Premier thème : L'histoire de la Terre... de sa naissance à nos jours](#)
 - [La naissance de la Terre](#)
 - [Exercice 1 : Calcul de l'âge de la Terre à partir de la salinité des océans](#)
 - [Exercice 2 : Calcul de l'âge de la Terre et du système solaire à l'aide des météorites](#)
 - [Les âges historiques](#)
 - [Exercice 3 : Datation par la méthode du ¹⁴C](#)
 - [Exercice 4 : Datations historiques par la méthode Ar/Ar](#)
- [Second thème : Chronologie relative, chronologie absolue](#)
- [Réponses](#)
- [Annexe : Instructions officielles en relation avec cette intervention](#)

Ce TD de Stéphanie Duchêne entre dans le cadre des journées ENS-IPR de décembre 2001 : accompagnement scientifique des programmes de Lycée sur le thème « La Planète Terre : de l'observation à la modélisation ».

Premier thème : L'histoire de la Terre... de sa naissance à nos jours

La naissance de la Terre

Pour dater la Terre, plusieurs méthodes ont été utilisées avant la radiochronologie. Les premières tentatives furent basées sur la lecture des textes anciens, dont la Bible. Mais cela permet seulement de dater le début de l'histoire de l'Homme.

Parmi les tentatives pour dater l'origine de la Terre, on peut citer celle de Buffon, qui part de l'hypothèse que la Terre était initialement fondue et calcule le temps qu'il a fallu pour que sa surface atteigne la température actuelle : il trouve ainsi un âge de 100 000 ans environ.

Exercice 1 : Calcul de l'âge de la Terre à partir de la salinité des océans

On peut facilement calculer l'âge de la Terre tel que l'a estimé Joly en 1899, à partir de la salinité des océans. Il part de l'hypothèse que l'eau des océans est salée et que les sels minéraux sont apportés par l'érosion des

<https://planet-terre.ens-lyon.fr/ressource/td-geochronologie.xml> - Version du 02/04/21

continents et l'apport des rivières. Il se base sur la concentration en sodium.

On sait que la salinité de l'océan est de 3,5%, dont 77,758% de NaCl. Dans NaCl, le Na constitue lui même 39,32% de la masse. On connaît aussi la masse des océans, qui est de $1,3245 \times 10^{18}$ tonnes. D'autre part, le flux total des rivières est de $2,7176 \times 10^4 \text{ km}^3$ d'eau par an, avec une concentration de 5 t/km^3 .

Q 1. Quel est l'âge obtenu par Joly ? Pourquoi cet âge est-il inférieur à l'âge de la Terre ? **Réponse.**

Les premières tentatives de datation par radiochronométrie s'approchèrent de l'âge de la Terre, mais ne parvinrent pas immédiatement à l'âge de 4,56 Ma que l'on connaît aujourd'hui.

Une des limitations est qu'aucune roche sur Terre ne semble avoir survécu depuis la formation de la planète. En effet, la Terre est une planète active, où les phénomènes d'érosion, le magmatisme, et la tectonique modifient en permanence les roches de la croûte terrestre.

À l'heure actuelle, la roche la plus ancienne jamais retrouvée sur Terre est le gneiss d'Isua, au Groenland, et date de 3,8 Ga. On a cependant retrouvé des minéraux plus anciens (des zircons), dans le gneiss d'Acasta, en Australie. Le plus ancien a été daté par la méthode U/Pb en 2001 à 4,4 Ga.

L'âge de la Terre (4,56 Ga) fut estimé par Paterson en 1956, et il ne fut pas estimé sur des roches terrestres, mais sur les météorites. En effet, une certaine catégorie de météorites, les chondrites, proviennent de corps planétaires inactifs et ont préservé la composition acquise au moment de la formation du système solaire. Les chondrites ont donc permis de dater par la méthode U/Pb le système solaire, et, indirectement, la Terre. Pour illustrer l'âge des chondrites, il est plus simple de considérer une méthode basée sur les isochrones, comme la méthode Rb/Sr.

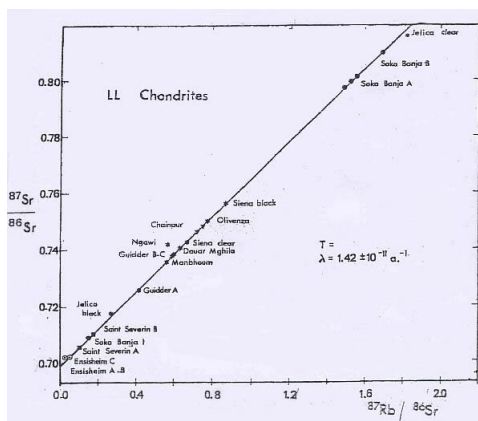
Exercice 2 : Calcul de l'âge de la Terre et du système solaire à l'aide des météorites

Echantillon de chondrites	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$
Chainpur No.1	0.7580	0.74864
Chainpur No.2	0.7255	0.74650
Ngawi	0.5422	0.74107
Soko Banja A. No. 1	1.520	0.79891
Soko Banja A. No.2	1.490	0.79692
Soko Banja) B. No.1	1.555	0.80152
Soko Banja B. No.2	1.685	0.80952
Soko Banja I	0.1542	0.70910
Guidder	0.4060	0.72576
Olivenza	0.7790	0.75035
Manbhoom	0.5600	0.73570
Douar Mghila	0.6291	0.74044
Siena black	0.8670	0.75655
Saint Severin B No.1	0.1610	0.70941
Saint Séverin B No.2	0.1621	0.70952
Ensisheim A No.1	0.0313	0.70149
Ensisheim A No.2	0.0278	0.70184
Ensisheim B	0.0409	0.70237
Ensisheim C No.1	0.0525	0.70214
Ensisheim C No.2	0.0525	0.70218

Source - © 1981 Minster et Allègre, EPSL

Figure 1. **Données.**

À partir des mesures ci-dessus effectuées sur plusieurs échantillons de chondrites, J.F. Minster et C.J. Allègre (1981) ont construit le diagramme $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ en fonction de $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ présenté ci-dessous.



Source - © 1981 Minster et Allègre, EPSL

Figure 2. Diagramme $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ en fonction de $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$.

Q 2. Que remarque-t-on sur ce diagramme ? Quel est l'âge obtenu pour ces météorites ? Réponse.

Les âges historiques

Exercice 3 : Datation par la méthode du ^{14}C

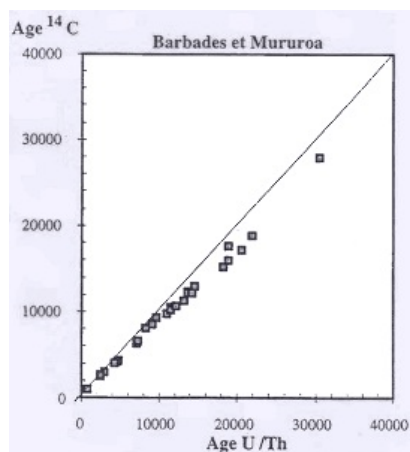


Figure 3. Diagramme âge ^{14}C - âge U/Th.

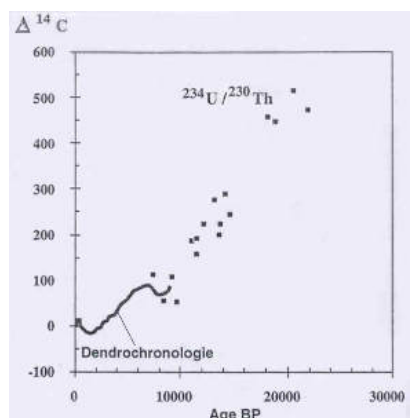


Figure 4. Diagramme $\Delta^{14}\text{C}$ - Age BP (Before Present soit 1950).

Q 3. Comparons les âges calculés sur des coraux par deux méthodes : la méthode du ^{14}C et celle de l'U/Th. Que constate-t-on ? Comment expliquer l'écart entre les deux méthodes ? Comment corriger les âges ^{14}C ? Réponse.

Exercice 4 : Datations historiques par la méthode Ar/Ar

Q 4. En 1997, un événement historique célèbre a été daté à 1925 ± 94 ans (Renne et al, 1997). Grâce à l'historien Pline le Jeune, on sait que cet événement a eu lieu en 79 après JC. Les données historiques et radiochronologiques sont-elles cohérentes ? De quel événement s'agit-il ? Sur quel matériau cette datation a-t-elle probablement été effectuée ? Quelle est la précision relative sur l'âge ? Quelle autre méthode peut-on utiliser ? Sur quel matériau ?

[Réponse.](#)

Second thème : Chronologie relative, chronologie absolue

À partir de la carte de la chaîne des Puys.

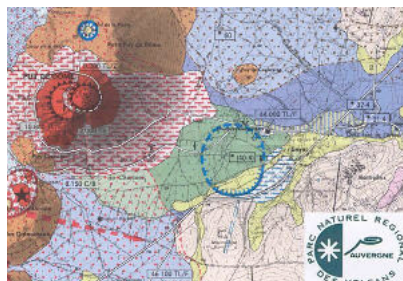


Figure 5. [Extrait de la carte géologique du Parc Naturel Régional des Volcans d'Auvergne.](#)

Q 5. Identifier les principaux ensembles géologiques : les sédiments du fossé de la Limagne, les roches magmatiques et métamorphiques du socle, les roches volcaniques de la chaîne des Puys.

Quels sont les âges relatifs de ces trois ensembles ? Localiser les zones où les âges relatifs peuvent être démontrés.

Quelles sont les indications d'âge reportées sur la carte ? Quels types de datation ont été utilisées ? Quels âges cela permet-il de donner aux trois ensembles ci-dessus ? [Réponse.](#)

Réponses

R 1. Masse de sel dans les océans = $1,3245 \cdot 10^{18} \times 0,035 \times 0,77758 \times 0,3932 = 1,42 \cdot 10^{16}$ t. Flux de sel apporté par les rivières = $2,7176 \cdot 10^4 \times 5250 = 1,426 \cdot 10^8$ t/an. Age = Masse / Flux = 99 Ma.

Cet âge est inférieur à l'âge réel car le sodium ne s'accumule pas simplement dans les océans, il en est aussi retiré par la sédimentation, et par la subduction de ces derniers dans les marges actives. Ce qu'a calculé Joly n'est donc pas l'âge des océans, mais le temps de résidence du sodium dans l'océan. [Retour.](#)

R 2. Les points s'alignent sur une isochrone, donc les chondrites ont toutes le même âge. La pente a vaut $(0,82 - 0,70) / (1,8 - 0) = 0,066$.

Puisque $a = e^{\lambda t} - 1$, l'âge est de $t = \ln(a+1)/\lambda = 4,50$ Ga

Compte tenu de l'incertitude sur la mesure de la pente, on doit trouver un âge voisin de 4,5 milliards d'années, et toute valeur proche (4 à 5 Ga) montre que la démarche est comprise. [Retour.](#)

R 3. Les âges U/Th et ^{14}C ne sont pas identiques. L'accord n'est bon que pour les âges très récents. N'oublions pas que la méthode du ^{14}C est basée sur une hypothèse : que la valeur du rapport ($^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$) initial est identique à l'actuel, soit encore que la proportion de ^{14}C dans l'atmosphère n'a pas varié au cours du temps. C'est cette hypothèse qui n'est pas toute à fait vérifiée. En effet, la production de ^{14}C dans l'atmosphère dépend de l'activité solaire, et de l'intensité du champ magnétique terrestre qui protège des rayonnements solaires.

Si on part de l'hypothèse que les âges U/Th des coraux sont justes, alors on peut recalculer les rapports initiaux au cours du temps.

Notez que la correction est effectuée jusqu'à 25 000 ans environ (au delà, les âges ^{14}C sont trop imprécis car il ne reste plus assez d'éléments père). Remarque aussi que pour les âges récents, on utilise une autre méthode de correction, basée sur la comparaison d'âges ^{14}C sur des végétaux avec les données de dendrochronologie. [Retour.](#)

R 4. En soustrayant 1925 à 1997, on voit que la date de cet événement est de 72 après JC. Cet événement est [l'éruption du Vésuve à Pompéi en 79 ap. J.C.](#) Les données sont donc cohérentes. Cette méthode de l'Ar est utilisée

sur les laves. Elle donne une précision de 5 %, ce qui est bon. Si la méthode du ^{14}C reste très utilisée en archéologie, d'autres méthodes existent, comme la thermoluminescence. [Retour](#).

R 5. On remarque :

- que les coulées volcaniques recourent le contact Limagne/Socle ;
- que les coulées volcaniques recourent les différents ensembles du socle.

On en conclut que le socle est plus ancien que la Limagne qui est plus ancienne que les volcans.

Il existe :

- Des indications d'âges biostratigraphiques (datation par les fossiles) pour la Limagne (l'échelle biostratigraphiques a été calibrée en âges absolus par l'intermédiaire de la radiochronologie).
- Des indications d'âges radiochronométriques avec diverses méthodes (Rb/Sr, K/Ar, U/Pb pour le socle, ^{14}C , thermoluminescence, traces de fission pour le récent).

Histoire de la région :

- socle hercynien (âges primaires autour de 300-400 Ma).
- sédimentation dans le fossé de la Limagne (âges tertiaire, autour de 30 Ma).
- volcans quaternaires (autour de 10 000 ans : on peut chercher l'âge le plus jeune, qui montre que le volcanisme est sub-actuel). [Retour](#).

Annexe : Instructions officielles en relation avec cette intervention

Terminale S

La mesure du temps dans l'histoire de la Terre et de la vie (2 semaines).

Si les outils de mesure des durées des phénomènes biologiques actuels sont relativement familiers des élèves, il n'en est pas de même de ceux qui permettent d'apprécier les événements longs (par rapport à l'échelle humaine) et anciens (par rapport à l'approche historique).

La mesure du temps au-delà des époques historiques se fait en interprétant des phénomènes géologiques et biologiques enregistrés dans les roches et les fossiles. Pour cela les géologues utilisent des outils de datation relative et absolue. Il est suggéré d'illustrer les méthodes de chronologie relative et absolue à partir d'exemples choisis dans les chapitres "convergence (subduction, collision)", "parenté entre êtres vivants actuels et fossiles - phylogenèse – évolution". Quelle que soit la solution pédagogique choisie, les objectifs cognitifs à atteindre sont ceux énoncés ci-dessous.

Activités envisageables	Notions et contenus
<ul style="list-style-type: none"> • Datation relative d'événements à partir d'exemples et d'observations : <ul style="list-style-type: none"> ◦ sur le terrain (superposition, discordance et déformation des couches) ; ◦ sur des échantillons (fossiles, minéraux) ; ◦ sur des coupes géologiques (discordances, intrusions) ; 	

- sur des photographies et des images à diverses échelles (discordances).
- Mise en évidence sur la carte géologique du monde et de la France de l'importance mondiale de la transgression du Crétacé supérieur.
- Mise en évidence des paramètres de variation du niveau de mètres en une dizaine de millions d'années).
- Mise en évidence des paramètres de variation du niveau de la mer :
 - variations de volume de l'eau de mer en fonction de la température ;
 - variations de la quantité de glace présente sur les terres émergées ;
 - variations de la profondeur moyenne du fond des océans.
- Réalisation d'un bilan quantitatif.

- **Datation relative**

- La datation relative permet d'ordonner les uns par rapport aux autres des structures (strates, plis, failles, minéraux) et des événements géologiques variés (discordance, sédimentation, intrusion, orogénèse).

- *Limites : Le détail des structures, leur inventaire exhaustif et les mécanismes de déformation ne sont pas au programme.*

La datation relative repose sur les principes de la chronologie relative qui ont permis d'établir l'échelle stratigraphique des temps géologiques. Ces principes sont :

- superposition,
- continuité,
- recoupement,
- identité paléontologique.

Limites : L'utilisation de ces principes pour l'établissement de l'échelle stratigraphique internationale n'est pas au programme. La connaissance de l'échelle stratigraphique internationale des temps géologiques n'est pas au programme.

La reconstitution de l'histoire géologique d'une région n'est pas au programme, on se limitera à l'étude de successions simples d'événements géologiques.

<ul style="list-style-type: none"> • Calcul de l'âge d'une couche à partir de résidus de bois carbonisés (traces de peuplement, coulées volcaniques récentes ayant brûlé une végétation). • Utilisation de datations absolues K-Ar pour encadrer l'âge de gisements fossilifères d'hominidés dans les séries volcano sédimentaires du rift est-africain. 	<ul style="list-style-type: none"> • Datation absolue • La chronologie absolue, en donnant accès à l'âge des roches et des fossiles, permet de mesurer les durées des phénomènes géologiques. Elle permet aussi de situer dans le temps l'échelle relative des temps géologiques. • La chronologie absolue est fondée sur la décroissance radioactive de certains éléments chimiques : elle exploite la relation qui existe entre rapports isotopiques et durée écoulée depuis la « fermeture du système » contenant les isotopes. Les radiochronomètres sont choisis en fonction de la période de temps que l'on cherche à explorer. Pour les derniers millénaires on utilise le carbone 14 (^{14}C) dont la quantité lors de la fermeture du système est connue. La mesure de la quantité de ^{14}C restante dans l'échantillon permet de trouver un âge. Lorsque tous les éléments radioactifs ont disparu de l'échantillon, la datation n'est plus possible. Pour des périodes plus anciennes on peut, par exemple, utiliser le couple potassium-argon (K-Ar). La quantité initiale lors de la fermeture du système est négligeable. La contamination par l'argon de l'atmosphère rend difficile la détection de l'argon issu de la désintégration du potassium avant que la roche ait atteint un certain âge. On utilise aussi le couple rubidium-strontium (Rb-Sr). Pour trouver l'âge d'une roche il est alors nécessaire de mesurer les rapports isotopiques de plusieurs minéraux de la même roche ayant cristallisé au même moment (les quantités initiales des éléments et le moment de la fermeture du système étant inconnus). <i>Limites : La signification des rapports isotopiques initiaux n'est pas au programme.</i>
--	--

Remarque : la datation absolue des objets naturels en sciences de la Terre est une illustration pratique du principe de la décroissance radioactive étudié en sciences physiques et de la fonction exponentielle étudiée en mathématiques : une coordination entre les enseignants des disciplines scientifiques pourra être développée à ce sujet.