

COURS

Géologie — Formation de la Terre et des planètes

1^{re}

Programme de première générale, enseignement de spécialité — BO spécial n°1 du 22 janvier 2019

Dater une roche ne donne pas l'âge de la matière qu'elle contient : les atomes qui la composent sont bien plus anciens que la roche elle-même. Ce que mesure une datation, c'est le moment où le système s'est fermé.

1 La formation du système solaire

DÉFINITION

L'hypothèse **nébulaire** propose que le **système solaire** s'est formé par l'effondrement gravitationnel d'un nuage de gaz et de poussières. La matière s'y concentre au centre pour former le Soleil, tandis que le reste s'aplatit en un disque en rotation où les poussières s'agglomèrent progressivement en corps de plus en plus gros. Cette hypothèse rend compte de trois observations : les planètes tournent **dans le même sens, presque dans un même plan**, et les roches les plus anciennes du **système solaire** ont des âges voisins.

PROPRIÉTÉ

La composition des planètes varie avec la distance au Soleil. Près de l'étoile, la chaleur empêche les composés volatils de se condenser : il ne reste que les éléments réfractaires, d'où des planètes **telluriques**, petites, denses et rocheuses. Plus loin, au-delà d'une limite où la glace devient stable, les corps accumulent aussi des volatils et deviennent des planètes **géantes** gazeuses, massives et peu denses.

2 La différenciation de la Terre

DÉFINITION

La **différenciation** est la séparation des matériaux d'une planète initialement homogène en enveloppes concentriques, selon leur **densité**. Sur une Terre primitive suffisamment chaude pour être partiellement fondue, le **fer**, dense, migre vers le centre et forme le **noyau**, tandis que les silicates, plus légers, constituent le manteau puis la croûte. La **différenciation** explique donc à la fois la structure en couches et la présence d'un noyau métallique.

La chaleur qui a permis cette **différenciation** a trois origines : l'énergie libérée par les impacts lors de l'accrétion, celle dégagée par la migration du **fer** vers le centre, et la **radioactivité** des éléments instables présents dans la matière initiale. Seule la dernière continue aujourd'hui d'alimenter la chaleur interne.

3 Mesurer le temps : la géochronologie

RÈGLE

La **géochronologie** absolue repose sur la **désintégration radioactive** : un isotope père se transforme en isotope fils à un rythme constant, caractérisé par une **demi-vie** — la durée au bout de laquelle la moitié des atomes pères restants s'est désintégrée. En mesurant le rapport entre père et fils dans un minéral, on remonte au temps écoulé depuis que ce minéral a cessé d'échanger avec son milieu.

$$\text{après } n \text{ demi-vies, il reste une fraction } 1/2^n \text{ de l'isotope père}$$

PROPRIÉTÉ

Le couple utilisé se choisit selon la durée à mesurer. Une **demi-vie** trop courte laisse un isotope père indétectable ; trop longue, elle rend la variation du rapport trop faible pour être mesurée. Le couple **U-Pb**, dont les demi-vies sont de l'ordre du milliard d'années, convient aux roches les plus anciennes et sert à dater la formation du **système solaire** ; le couple Rb-Sr couvre également de très longues durées.

LE PIÈGE QUI COÛTE LE PLUS DE POINTS

Lire l'âge obtenu comme celui des atomes datés, ou comme celui du continent qui porte la roche. — Le chronomètre démarre à la **fermeture du système**, c'est-à-dire au moment où le minéral cesse d'échanger avec son milieu — lors de sa cristallisation, ou après un refroidissement. Les atomes, eux, existaient bien avant. Et un continent est une **mosaïque** de roches d'âges très différents : dater un échantillon ne date que lui, pas l'ensemble.

Le réflexe : Formuler la conclusion ainsi : « ce **minéral** s'est fermé il y a tant ».

EXEMPLE

Un minéral ne contient plus que 25 % de son isotope père initial. La demi-vie du couple utilisé est de 1,3 milliard d'années. Quel âge de fermeture en déduire ?

- ① Après une demi-vie, il reste 50 % ; après deux demi-vies :
 $50 \div 2 = 25$
- ② Il s'est donc écoulé exactement **deux** demi-vies.
- ③ L'âge est donc :
 $1,3 \times 2 = 2,6$
- ④ Soit **2,6 milliards d'années** — l'âge de la **fermeture** du système, pas celui des atomes.

2,6 milliards d'années

4 La Terre aujourd'hui

PROPRIÉTÉ

La Terre évacue en permanence de la chaleur vers l'espace : c'est le **flux de chaleur** géothermique, qui se mesure en watts par mètre carré. Il provient surtout de la **radioactivité** des éléments instables du manteau et de la croûte, et pour une part de la chaleur résiduelle de l'accrétion et de la **différenciation**. Ce **flux de chaleur** n'est pas uniforme : il est bien plus élevé au niveau des dorsales océaniques que sur les vieux continents, et c'est lui qui entretient la dynamique interne du globe.

EXPLOITER UNE DATATION ABSOLUE

- ① Identifier le **couple** isotopique utilisé et relever sa **demi-vie**.
- ② Relever la proportion d'isotope **père** restant, ou le rapport père/fils.
- ③ Déterminer combien de **demi-vies** se sont écoulées : 50 % → une, 25 % → deux, 12,5 % → trois.
 $25 \div 2 = 12,5$
Chaque demi-vie divise par deux la proportion restante.
- ④ Multiplier ce nombre par la **demi-vie** pour obtenir l'âge.
- ⑤ Formuler la conclusion en termes de **fermeture du système**, et non d'âge des atomes ni du continent.

À VÉRIFIER

- Ai-je vérifié que la **demi-vie** est adaptée à la durée mesurée ?
- Ai-je compté les **demi-vies** en divisant par deux, et non proportionnellement ?
- Ai-je conclu sur la **fermeture du système**, et non sur l'âge des atomes ?
- Ai-je évité de généraliser l'âge d'un échantillon à tout un continent ?
- Ai-je relié la **différenciation** à la **densité** des matériaux ?
- Ai-je attribué l'essentiel du **flux de chaleur** actuel à la **radioactivité** ?

À RETENIR

- Hypothèse **nébulaire** : effondrement d'un nuage, disque en rotation, accrétion.
- Elle explique le sens commun de rotation et le plan commun des orbites.
- Planètes **telluriques** près du Soleil, **géantes** au-delà de la limite de la glace.
- **Différenciation** : séparation en enveloppes selon la **densité** — le **fer** au centre.
- Chaleur initiale : impacts, migration du fer, **radioactivité**.
- **Demi-vie** : durée au bout de laquelle la moitié des atomes pères s'est désintégrée.
- Après n demi-vies, il reste $1/2^n$ de l'isotope père.
- Couple **U-Pb** : demi-vies de l'ordre du milliard d'années, pour les roches anciennes.
- Une datation donne l'âge de la **fermeture du système**, pas celui des atomes.
- Dater un échantillon ne date pas le continent qui le porte.
- Le **flux de chaleur** actuel vient surtout de la **radioactivité**, et varie selon les lieux.