Thème 1-B A la recherche du passé géologique de notre planète

Classe : Terminales SPE Durée envisagée : 1 semaine Nombre de TP : 1	**En rouge :** Bilans à faire noter aux élèves **En bleu :** Activités pratiques **En vert :** Problématique et hypothèses

Chapitre 1 - Datation relative et absolue

Introduction :

La Terre est une planète tellurique du système solaire dont la formation remonte à 4,6 milliards d'années (4,6 Ga). La **géologie** est la science qui étudie la Terre et les roches qui la composent. Une partie du travail du géologue consiste à **reconstituer l'histoire** de la Terre et des terrains, ce qui permet de déterminer **l'âge relatif** des événements qui ont affecté une région : c'est la **datation relative**. Cette démarche est complétée par **l'étude des fossiles** (**paléontologie**) mais aussi par la **datation absolue** des roches grâce à des **méthodes radiochronologiques** (basées sur la radioactivité de certains éléments chimiques contenus dans les roches). L'ensemble de ces méthodes permet de reconstituer l'histoire de la Terre et de construire l'**échelle des temps géologiques**. Celle-ci est enrichie régulièrement par les découvertes de nouveaux fossiles ou de nouveaux affleurements.

Problématique : Comment reconstituer le plus précisément possible les événements qui ont affecté la Terre ?

I. La datation relative et ses principes (p124-125)

1- La datation relative et ses modalités

La datation relative se base sur l'étude des relations géométriques qui affectent les objets géologiques afin de reconstituer la chronologie relative des événements (avant/après). Cette méthode peut être appliquée à différentes échelles (lame mince, étude des roches, affleurement, carte géologique).

Par exemple, l'observation d'un affleurement : une zone où les roches sont en surface et nettement visibles permet de visualiser les strates (ou couches) de roches sédimentaires, les plis, failles et inclusions qui ont pu les affecter.

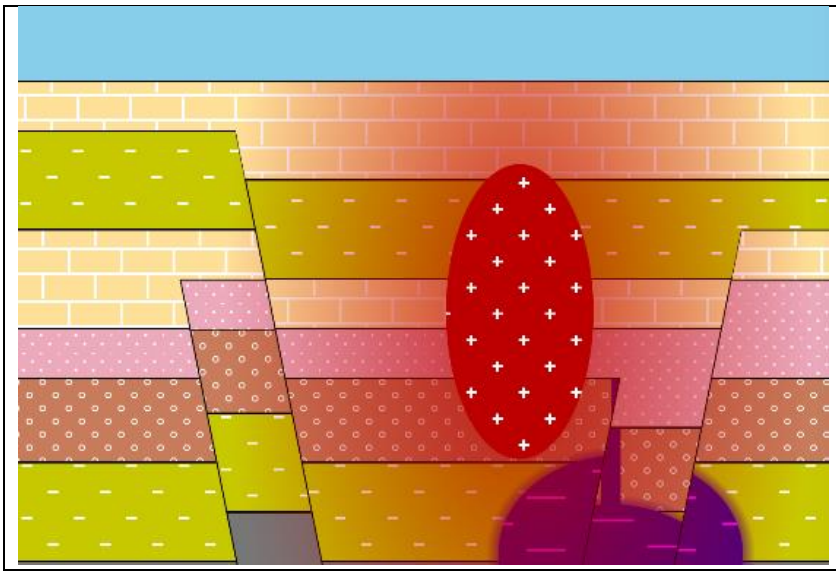
2- Les principes de la datation relative

La datation relative se base sur 3 principes généraux :

- **Principe de superposition : les couches les plus récentes recouvrent les plus anciennes (récent en surface, âgé en profondeur).**
- **Principe de recoupement : un élément qui est recoupé par un autre est plus ancien. Ex : les failles, les plis, les cheminées volcaniques, plutons qui peuvent recouper des terrains plus anciens.**
- **Principe d'inclusion : un élément inclus dans un autre est plus ancien. On considère que les volcans et plutons (événements magmatiques) correspondent plutôt à des recoupements et non à des inclusions.**

3- L'application de ces principes

Activité : Défi de Lyell - Un exemple de chronologie relative



1- Dépôt du sédiment vert
2- Dépôt du sédiment rouge
3- Volcan
4- Erosion (le cône volcanique n'est plus présent)
5- Faille Inverse D
6- Dépôt du sédiment rose
7- Faille Inverse G
8- Dépôt du sédiment jaune
9- Faille Normale D
10- Dépôt du sédiment vert
11- Faille normale G
12- Dépôt du sédiment jaune
13- Pluton granitique

Lorsque ces principes ne sont pas respectés sur un affleurement, il faut rechercher les causes des bouleversements observés. Par exemple, lorsque des sédiments anciens reposent sur des sédiments récents, on peut envisager que les terrains ont été déplacés par un chevauchement (voir programme 1ere SPE).

Source intéressante : https://web.archive.org/web/20190419160700/http://www.cnrs.fr/cnrs-images/sciencesdelaterreaulycee/contenu/geochrono1.htm

II. Les fossiles et la construction de l'échelle stratigraphique

1- Les roches et les fossiles (p126-127)

Les roches sédimentaires sont formées de particules de petite taille qui se sont déposées et se sont compactées pour former une roche (ex : calcaire, grès, marnes …). Connaissant ce mécanisme, les géologues ont défini un nouveau principe :

- Principe de continuité : une strate sédimentaire possède le même âge sur toute sa longueur. Ainsi, si on retrouve une roche sédimentaire d'une nature particulière (faciès), encadrée par une roche plus ancienne (le mur) et une roche plus récente (le toit) à 2 endroits différents, on pourra dire qu'elles ont le même âge.

2- Les fossiles stratigraphiques et la datation (p128-129)

Les roches sédimentaires peuvent également accumuler des fossiles : ce sont des restes d'êtres vivants tels que des coquilles, des squelettes qui ont été transformés en roche ou en moulage. Ex : Ammonites, Bélemnites, Foraminifères, Radiolaires …

Les fossiles attestent de nombreuses informations : climat, nature de l'environnement (eau de mer, eau douce, présence de végétaux …) et sont également un indice de l'âge relatif des roches sédimentaires. Les géologues ont donc défini un autre principe :

- Principe d'identité paléontologique : des roches sédimentaires de même nature et présentant exactement les mêmes associations de fossiles ont le même âge.

De plus, certains fossiles sont qualifiés de « fossiles stratigraphiques » car ils possèdent 3 caractéristiques qui les rendent « universels » :

- Ils étaient présents dans le monde entier
- Ils étaient présents en grande quantité
- Ils ont eu une courte durée de vie

Ceci permet donc d'utiliser les fossiles stratigraphiques partout dans le monde afin d'identifier une époque précise de l'histoire de la Terre associée à un âge assez précis.

3- L'échelle chronostratigraphique (p130-131)

Ainsi, l'étude des roches sédimentaires a permis de découper l'histoire de la Terre en grandes ères (Primaire, Secondaire, Tertiaire, Quaternaire) puis en période (Trias, Jurassique, Crétacé …) puis en étage (Maastrichtien, Danien …). Chaque période est définie par des roches particulières et des associations de fossiles spécifiques. On recherche alors des marqueurs de la séparation de ces périodes ou étages qui sont marquées par la disparition brutale de certains fossiles suivie d'une apparition très rapide d'autres fossiles.

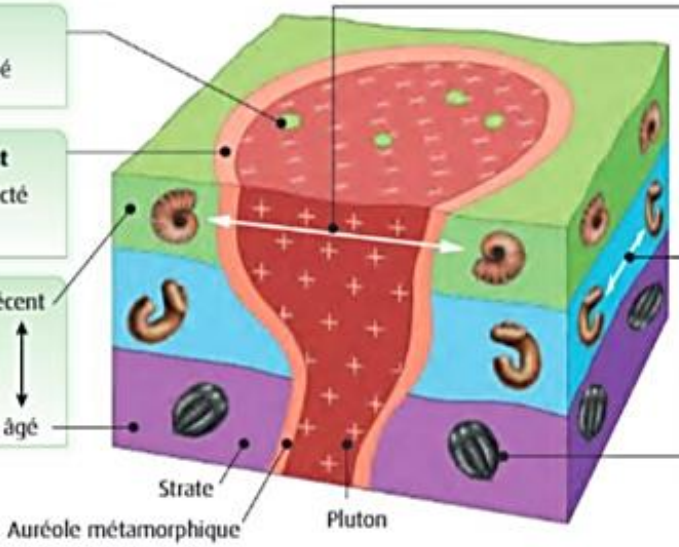
Ex (p135) : La transition entre le secondaire et le Tertiaire correspond à une crise biologique (Crise KT) qui a vu l'extinction des Dinosaures mais qui est marquée précisément par des fossiles marins : les globotruncana (qui ont disparu, en même temps que les Ammonites et les Dinosaures) et les globigérines (qui sont apparues).

Les principes de la datation relative

Principe d'inclusion
Ce qui est inclu est ⊕ âgé

Principe de recoupement
Ce qui est recoupé ou affecté est ⊕ âgé

Principe de superposition
⊕ récent
⊕ âgé

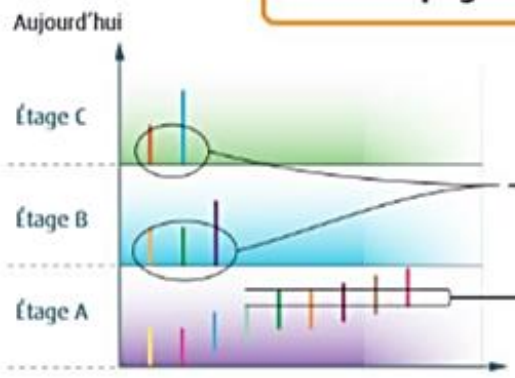


Principe d'identité paléontologique
Si même fossile stratigraphique, alors même âge

Principe de continuité
Même âge sur toute la longueur d'une couche

Fossile stratigraphique
- Existence brève de l'espèce
- Grande répartition géographique
- Abondant

Le découpage du temps grâce aux fossiles



La première apparition de fossiles stratigraphiques définit la base d'un étage → **Établissement d'intervalles de temps**

Des associations de fossiles stratigraphiques permettent de **corréler temporellement** des unités géologiques distantes

L'échelle stratigraphique

- **Valeur internationale**
- **Coupures de différents ordres :**

Ère	Période	Étage
Secondaire = Mésozoïque	Crétacé	...
		Berriasien
	Jurassique	...
		Pliensbachien
		Sinémurien
		Hettangien
	Trias	Rhétien
		...

III. La datation absolue

TP1 - La datation absolue

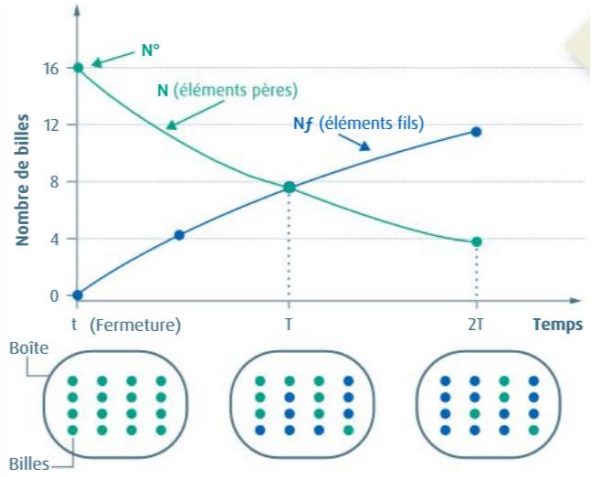
1- Le principe de la datation absolue (p146-147)

La radiochronologie permet de dater plus précisément les roches en se basant sur les propriétés de la désintégration radioactive. Un isotope radioactif (élément père) est instable et se désintègre en isotope radiogénique (élément fils) selon une loi exponentielle décroissante qui s'écrit sous la forme :

$$N = N_0 \times e^{-\lambda t}$$

N = nombre actuel d'atomes de l'élément père

N_0 = nombre initial d'atomes de l'élément père



Source : Doc3p147 (BELIN)

Cette réaction se déroule à une vitesse qui est propre à l'isotope considéré et correspond à sa constante de désintégration (λ). A partir de cette vitesse, on peut également définir la demi-vie (T) qui correspond à la dégradation de 50% des éléments père. Ces 2 paramètres sont reliés par la relation suivante :

$$T = \ln 2 / \lambda$$

Généralement, on ne peut pas appliquer la loi de décroissance radioactive directement car il y a 2 inconnues : on ne connaît pas le nombre d'atomes radioactifs de départ : N_0) et le nombre d'éléments radiogéniques n'est pas forcément nul dans l'échantillon. Pour ce faire, on va donc normaliser les concentrations avec un élément stable proche du couple étudié.

Ainsi, on assimile la désintégration des éléments père à un chronomètre (géochronomètre) qui permet de dater précisément les roches, les minéraux ou les fragments d'objets (êtres vivants …). L'âge obtenu correspond à l'âge de fermeture du système : c'est l'âge de la mort d'un être vivant, de la cristallisation du magma, ou du métamorphisme d'une roche (qui ouvre à nouveau le système).

Enfin, le choix de la méthode appliquée dépend de l'âge estimé de l'échantillon (constante de désintégration adaptée) et sa nature chimique : présence de l'élément dans l'échantillon. Par exemple, les granites seront datés par la méthode Rb/Sr alors que les basaltes et gabbros seront datés par la méthode Sm/Nd (même principe mais Rb trop peu présent dans les gabbros).

2- La méthode Rb/Sr : la méthode des isochrones (p148-149)

Au moment de la cristallisation d'une roche, les rapports $^{87}Sr/^{86}Sr$ sont identiques (rapport $^{87}Sr/^{86}Sr$ du magma). Néanmoins, certains minéraux sont plus riches en ^{87}Rb (cas de la biotite, riche en K) et les rapports $^{87}Rb/^{86}Sr$ sont donc différents selon le minéral. Dès que la roche est formée (fermeture du système), le ^{87}Rb se désintègre et le $^{87}Rb/^{86}Sr$ rapport commence à diminuer. Comme ^{87}Rb se désintègre en ^{87}Sr, le rapport $^{87}Sr/^{86}Sr$ va, au contraire, augmenter.

Les points donnés par les rapports $^{87}Sr/^{86}Sr$ et $^{87}Rb/^{86}Sr$ restent alignés et forment une droite isochrone. Cette droite présente une pente (coefficient directeur a) d'autant plus importante que le temps est important.

Ainsi, en mesurant la quantité de ^{87}Rb et ^{87}Sr dans les différents minéraux de la roche, on peut reconstituer la droite isochrone et déterminer sa pente afin d'identifier l'âge de la roche en utilisant la formule suivante :

$t = \ln(a+1) / \lambda$	

t = âge de l'échantillon
a = pente de l'isochrone
λ = constante de désintégration radioactive : $1{,}42.10^{-11}$ pour Rb/Sr
ln : logarithme népérien

Cette méthode donne un âge avec une précision de l'ordre de 10 Ma. Elle est particulièrement adaptée pour la datation des roches de la croûte continentale (granites). Pour la croûte océanique (basalte, gabbro), on utilise une variante basée sur le même principe : la méthode Sm/Nd.

3- La méthode U/Pb : la méthode Concordia (p152-153)

Il est possible de déterminer l'âge d'objets plus anciens avec la méthode U/Pb. L'Uranium ^{238}U se désintègre en ^{206}Pb et ^{235}U se désintègre en ^{207}Pb. On construit alors un graphique présentant les variations des rapports $^{206}Pb/^{238}U$ en fonction de $^{207}Pb/^{235}U$. Cela produit une courbe que l'on appelle concordia (concordance des rapports Pb/U). Sur cette courbe, on connaît des âges précis. Il suffit de déterminer les rapports Pb /U et de placer le point sur la concordia pour lire l'âge de l'échantillon.

Cette méthode est particulièrement adaptée pour des échantillons anciens (entre 0,5 à 5 Ga). Elle n'est donc pas utilisée pour la plupart des roches océaniques ou continentales (sauf roches les plus anciennes). Elle est souvent utilisée sur les météorites.

4- La méthode K/Ar (p150-151)

Enfin, dans certains cas, il est nécessaire d'utiliser la méthode K/Ar qui se base sur la désintégration radioactive de l'isotope radioactif : ^{40}K en isotope radiogénique (fils) : ^{40}Ar. La demi-vie étant de 1,26 Ga, elle s'applique aux roches continentales.

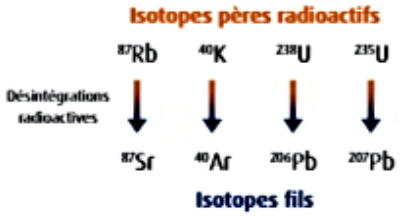
Dans ce cas, on mesure les concentrations des 2 éléments mais on ne rapporte pas ces concentrations à des standards. On obtient donc l'âge par le calcul suivant :

$$t = \frac{1}{\lambda} \cdot \ln\left[10 \cdot \frac{[^{40}Ar]}{[^{40}K]} + 1\right]$$

Source : https://planet-terre.ens-lyon.fr/article/datation-k-ar.xml

Remarque : Il existe une variante (technique $^{40}Ar/^{39}Ar$) qui permet de normaliser la quantité de ^{40}Ar par rapport à la quantité de ^{39}Ar.

Principe de la datation absolue



Nombre d'isotopes pères **N** mesurable

Constante de désintégration λ radioactive connue

Nombre d'isotopes fils N_f mesurable

$N_f = N(e^{\lambda t} - 1)$

Calcul de t = temps écoulé depuis la fermeture du système

Application de la datation absolue aux roches

Principales roches datées
- Roches magmatiques
- Roches métamorphiques

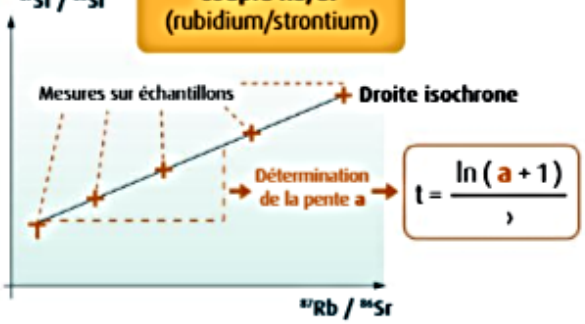
Échantillons utilisés pour la mesure des isotopes
- Minéraux
- Fragments de roches

Phénomène daté
- Cristalllisation
- ou Refroidissement
- ou Métamorphisme

} de la roche

Méthodes de détermination de l'âge

Couple Rb/Sr (rubidium/strontium)

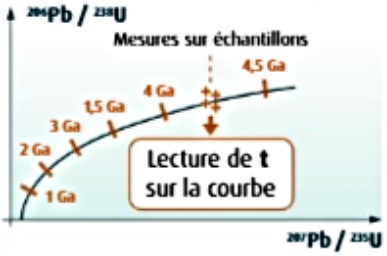


Couple K/Ar (potassium/argon)

Mesure de ^{40}Ar et ^{40}K

$t = \frac{1}{\lambda}\left[\ln\left(\frac{\lambda\ ^{40}Ar}{\lambda_{Ar}\ ^{40}K}\right) + 1\right]$

Couple U/Pb (uranium/plomb)



Datation absolue et échelle chronostratigraphique

Datation relative

La succession des associations de fossiles stratigraphiques permet de découper le temps en intervalles

Datation absolue

Détermination des âges absolus

Ressource complémentaire : https://planet-terre.ens-lyon.fr/article/sgf-2004-Labrousse.xml
http://www.archeologiesenchantier.ens.fr/spip.php?article10

Echelle chronostratigraphique simplifiée
(autre source très intéressante : Frise complète)

Eon	Ere	Période	notation et couleur	Age absolu (Ma)	Evénements significatifs
PHANEROZOIQUE	Quaternaire		Q (254/230/146)	0,01	Temps historiques
					Glaciations
				1,6	
	CENOZOIQUE	Néogène	N (255/232/0)		Apparition du genre Homo
					Premiers grands Singes (Proconsul)
				23,7	
		Paléogène	E (253/154/82)		Premières Graminées
					Diversification des Mammifères
				66,4	Grande vague d'extinction des organismes terrestres aquatiques; premiers Primates
	MESOZOIQUE	Crétacé	K (197/229/71)		Diversification des plantes à fleurs (Angiospermes)
				144	Plus anciens fossiles d'Oiseaux
		Jurassique	J (226/244/224)		Ouverture de l'océan Atlantique
				208	Plus anciens Mammifères connus
		Trias	T (107/1/125)		Apparition des Dinosaures
				245	
	PALEOZOIQUE	Permien	P (240/64/40)		Extinction massive des plus grands groupes d'organismes marins
				286	
		Carbonifère	C (103/171/160)		Fermeture de l'océan Iapetus
					Plus anciens insectes ailés connus
				320	Premiers Reptiles
					Derniers Graptolites
					Premières plantes à graines (Gymnospermes)
				360	Apparition des premiers tétrapodes (Amphibiens)
		Dévonien	D (203/140/55)		Premiers Poissons osseux de type moderne
					Plus anciens Poissons à poumons
				408	
		Silurien	S (179/226/208)		Apparition des plantes vasculaires terrestres
					Plus anciennes traces de poissons à mâchoires
				438	
		Ordovicien	O (0/146/112)		Premiers récifs coralliens
					Plus anciens Céphalopodes à coquille enroulée
				505	
		Cambrien	Ca (64/133/33)		Plus anciennes traces de Vertébrés
					Premiers Graptolites
					Apparition des Invertébrés à squelette minéralisé
				570	Ouverture de l'océan Iapétus
PRECAMBRIEN	Protérozoïque	Néopr. Mésopr. Paléopr.	PR (251/154/148)	1000	Les Laurentides sont complètement fermées
				1600	Apogée des Algues
					Apparition des bactéries ne pouvant se développer qu'avec la présence d'air ou d'oxygène
				2500	Plus ancienne trace de micro-organismes
	Archéen		AR (240/2/127)	3000	
				3400	Plus anciennes Algues connues
				4000	La plus ancienne roche datée