

CH1 – LE TEMPS ET LES ROCHES

I – Des outils tirées d'observations de terrain : la chronologie relative

1. Les principes géométriques

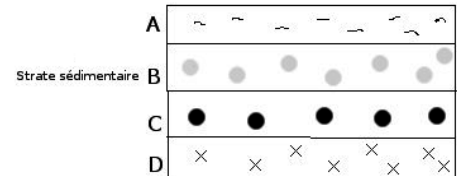
La **chronologie relative** permet de situer les évènements les uns par rapport aux autres dans le temps. Elle s'appuie sur l'observation des **relations géométriques** des différentes « objets géologiques » à l'affleurement.

Pour cela, les géologues raisonnent en utilisant des « principes » dont le premier a été énoncé en 1669 par Niels Stensen (Nicols Sténon), évêque, géologue et anatomiste danois.

- Le **principe de SUPERPOSITION** : Ce principe s'applique aux strates sédimentaires ou aux coulées volcaniques.

Toute couche est plus récente que celle qu'elle recouvre, à une condition, que la région ait été relativement stable.

Ici, âge de $D > C > B > A$.



- Le **principe de RECOUPEMENT** :

Un évènement qui affecte une structure lui est forcément postérieur : lorsque deux structures se recoupent, la plus jeune recoupe la plus ancienne.

On distingue :

- Les **intrusions** : par exemple, une **intrusion de granite** se met en place par cristallisation d'un magma au cours de son ascension et est plus jeune que les roches traversées (= **roches encaissantes**).

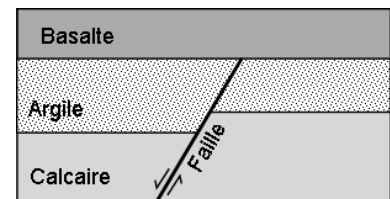
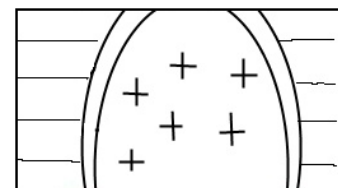
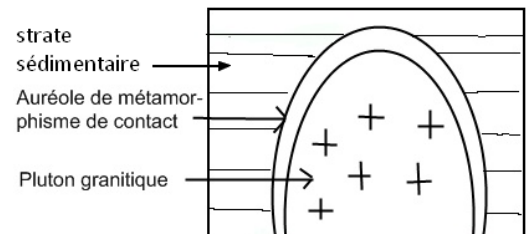
Celles-ci peuvent être modifiées par la chaleur dissipée par le magma en cours de refroidissement, il se forme alors une **auréole de métamorphisme de contact** contemporaine à la mise en place du granite et postérieure aux roches sédimentaires qui existaient avant.

Remarque : Si un massif granitique affleure aujourd'hui, alors que sa consolidation à partir d'un magma s'est effectuée à quelques kilomètres de profondeur, cela signifie que les terrains qui le recouvraient ont été enlevés par **l'érosion**. Cette érosion est postérieure à la mise en place du massif granitique.

- Les déformations souples (les **plis**) ou cassantes (les **failles**).

Une **faille** résulte d'une cassure d'un terrain avec déplacement relatif des parties séparées. Elle est donc plus récente que les roches qu'elle affecte et plus ancienne que celles qui ne sont pas déplacées.

Ici, la faille affecte les terrains calcaires et argileux mais pas la coulée de basalte. Elle est donc postérieure aux dépôts de calcaire et d'argile mais antérieure à la coulée de basalte.

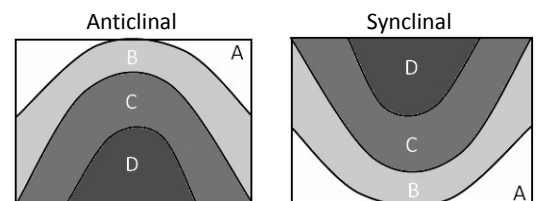


Parmi **les plis**, on distingue :

L'anticlinal = La strate située la plus à l'intérieur de la courbe (**D**) est la plus ancienne.

Le synclinal = La strate située la plus à l'intérieur de la courbe (**D**) est la plus récente.

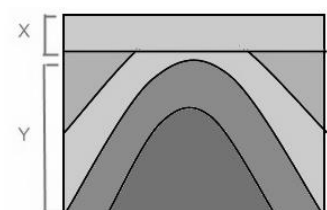
Dans les deux sortes de pli, la déformation (le plissement) **affecte** la série sédimentaire, donc par **principe de recoupement** le plissement est **postérieur** à la mise en place de la série.



Remarque : la notion de **discordance**

Lorsqu'une strate X repose à l'horizontale sur des strates redressées ou plissées Y, **la zone de contact** est appelée **discordance**. Elle implique une succession d'évènements géologiques : Dépôt – Plissement - (Régression) – Érosion -(Transgression) – Dépôt.

Ici, on dit que X repose en discordance sur Y.



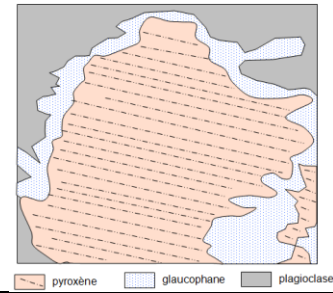
- **Le principe d'INCLUSION :**

Les inclusions sont des « objets » emprisonnés dans une strate, un échantillon de roche, un minéral. Toute inclusion est plus ancienne que la structure qui l'entoure.

Le pyroxène, la glaucophane, le plagioclase sont des minéraux caractéristiques des métagabbros appelés « schistes bleus ».

Ici, la glaucophane forme une couronne entourant le pyroxène ou autrement dit, le pyroxène est inclus dans la glaucophane. Le pyroxène s'est donc formé avant la glaucophane.

observation microscopique d'un métagabbro (schéma interprétatif)



2. L'utilisation des fossiles comme outil de datation

2.1. L'intérêt des associations de fossiles

L'étude des associations de faune et de flores fossiles permet souvent une datation précise des terrains. L'association faunistique trouvée dans une strate géologique est comparable à une ancienne « photographie de famille ». On raisonne de la sorte : si les 5 fossiles A, B, C, D, E sont présents dans la même couche et si on connaît la période d'existence de chacun d'eux, on peut déterminer à quelle période s'est déposée cette couche sédimentaire.

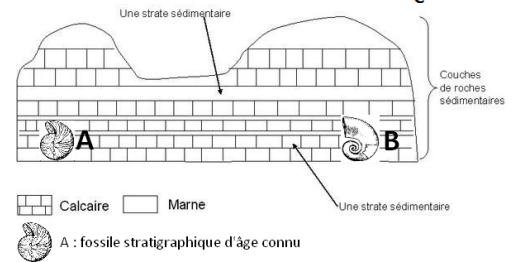
Dans le cas présent, c'est au Silurien supérieur que les 5 espèces de fossiles ont cohabité.

CARBONIFÈRE	Supérieur				
	Inférieur				
DÉVONIEN	Supérieur				
	Moyen				
	Inférieur				
SILURIEN	Supérieur				
	Inférieur		B		E
ORDOVICIEN	Supérieur	A			
	Moyen				D
	inférieur				

Le principe de continuité

Si un fossile stratigraphique déjà daté de façon absolue se trouve sur une même couche que d'autres fossiles alors ils appartiennent tous à la même époque.

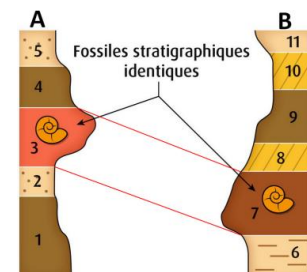
Ici, le fossile A daté permet de dire que le fossile B est du même âge car retrouvé dans la même strate.



La notion d'identité paléontologique

Des couches sédimentaires situées dans deux affleurements différents (parfois très éloignées l'une de l'autre) mais qui présentent le même contenu fossilifère (= les mêmes associations fossilifères) ont le même âge.

Ici, la strate 3 de la série sédimentaire A et la strate 7 de la série sédimentaire B ont le même âge car elles contiennent les mêmes associations fossilifères.



3. La notion de « bon » fossile stratigraphique

Un bon fossile stratigraphique doit posséder 3 qualités :

- Avoir **une faible extension temporelle** ce qui signifie que l'espèce a existé pendant une période géologique relativement faible.
- Etre représenté par **un grand nombre d'individus**, afin qu'il puisse être trouvé facilement.
- Avoir **une large répartition géographique**, ce qui permet aux géologues de comparer l'âge des formations géologiques de différentes régions.

La plupart des **ammonites** répondent à ces critères (voir TP2).

II – Des outils tirés de mesures en laboratoire : la chronologie absolue

1. La désintégration radioactive

La **chronologie absolue** est fondée sur les **lois de la radioactivité naturelle**. Comme la **désintégration radioactive** d'un élément « père » en élément « fils » est un phénomène continu et irréversible, la **période radioactive** (ou demi-vie) d'un élément radioactif est caractéristique de cet élément.

Le principe : les géophysiciens mesurent les concentrations d'**éléments pères restantes** et les concentrations d'**éléments fils formés**. Différents couples de **géochronomètres** ($^{40}\text{K}/^{40}\text{Ar}$ – $^{87}\text{Rb}/^{87}\text{Sr}$ – $^{235}\text{U}/^{207}\text{Pb}$ – $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$) sont disponibles pour dater les roches terrestres, les restes vivants ou les traces de leurs activités (peintures rupestres) ; chaque couple se distingue par la période de l'élément père. Le choix du géochronomètre dépend de l'âge supposé de l'objet que l'on détermine par chronologie relative.

L'âge obtenu par la mesure correspond à la « **fermeture du système** », c'est-à-dire à l'arrêt de tout échange entre l'objet géologique et son environnement (mort d'un être vivant, cristallisation d'un magma...).

2. Quelques méthodes de datation

La désintégration radioactive est une fonction exponentielle du temps :

- (1) $P = P_0 \cdot e^{-\lambda t} \rightarrow P/P_0 = e^{-\lambda t} \rightarrow P_0 = P \cdot e^{\lambda t}$
- (2) $F = F_0 + (P_0 - P) \rightarrow F = F_0 + (P \cdot e^{\lambda t} - P) \rightarrow$
- (3) $F = F_0 + P (e^{\lambda t} - 1)$

P et **F** sont déterminés par mesure directe grâce à un spectromètre de masse. Toutefois, dans l'équation (3), il reste deux inconnues : la quantité initiale d'élément fils **F₀** qui ne peut pas être déterminée par mesure directe et le **temps**.

1 ^{er} cas : la quantité initiale est connue : le couple $^{40}\text{K}/^{40}\text{Ar}$	2 ^{ème} cas : la quantité initiale reste inconnue : le couple $^{87}\text{Rb}/^{87}\text{Sr}$
<p>$F_0 = 0$ car l'argon est un gaz volatile qui s'échappe de l'échantillon particulièrement au moment de la cristallisation d'un magma.</p> <p>$^{40}\text{Ar} = (e^{\lambda t} - 1) \cdot ^{40}\text{K}$ ($y = a \cdot x$)</p> <p>L'âge est déduit directement par mesure des concentrations de ^{40}Ar et ^{40}K.</p>	<p>$^{87}\text{Sr} = (e^{\lambda t} - 1) \cdot ^{87}\text{Rb} + ^{87}\text{Sr}_0$ ($y = ax + b$)</p> <p>La détermination de l'âge passe par une résolution graphique. Les mesures de ^{87}Sr et ^{87}Rb sur plusieurs minéraux permettent de tracer une droite isochrone. La pente de cette droite dépend du temps écoulé depuis la fermeture du système et permet de connaître l'âge de l'échantillon.</p>
Période radioactive = 1,31 Ga	Période radioactive : 50 Ga
Réservé pour des roches magmatiques métamorphiques	Réservé pour des roches magmatiques métamorphiques plus âgées que 100 Ma.

III- L'échelle stratigraphique internationale : une synthèse nécessaire

1. De grandes coupures dans l'échelle des temps géologiques

Les limites entre les principales unités ont été établies principalement sur des **changements fauniques** importants (*flèches rouges*) mais également de floristiques.

Ainsi, la limite entre le **Paléozoïque** (litt., *la vie ancienne*) et le **Mésozoïque** (litt., *le milieu de la vie*) correspond à la **grande extinction** de la fin du **Permien** où 95% des espèces sont disparues de la surface du Globe, alors que la limite entre le Mésozoïque et le **Cénozoïque** (litt., *la vie récente*) correspond à la disparition de plusieurs groupes dont les dinosaures. Le Protérozoïque (litt., *antérieurement à la vie*) a été ainsi nommé car on croyait à l'époque que la vie n'avait commencé qu'au Cambrien. Aujourd'hui, on sait qu'elle est beaucoup plus ancienne.

Ici, la limite entre le Maastrichtien (Crétacé sup. – ère secondaire) et le Danien (Paléocène – ère tertiaire) a été déterminé par la disparition d'une faune et l'apparition d'une autre faune.

Ce sont donc des évènements catastrophiques qui ont permis de définir les grandes coupures dans l'échelle des temps. Des évènements moins significatifs ont permis un découpage plus précis.

Remarque : Chaque période géologique porte un nom qui lui a été donné au 19^e siècle par les géologues de l'Europe de l'Ouest ou de Grande Bretagne: le Cambrien (Cambria, le nom romain du Pays de Galles), l'Ordovicien et le Silurien (d'après le nom des tribus celtes, les Ordovices et les Silures, qui vivaient au pays de Galles durant la conquête romaine), le Dévonien (d'après le Devonshire County en Angleterre où ces roches furent étudiées pour la première fois), le Carbonifère (roches riches en charbon), le Permien (d'après la province de Perm, en Russie, où ces roches furent étudiées pour la première fois), le Trias (roches qui se divisent en trois unités en Europe), le Jurassique (d'après le Jura en France et en Suisse où des roches de cet âge furent étudiées pour la première fois), le Crétacé (creta, mot latin pour craie; appliqué pour la première fois à des falaises blanches le long de la Manche).

2. L'échelle stratigraphique : un calendrier de référence

Les principes de chronologie relative ont permis d'établir un calendrier couvrant toute l'histoire de la Terre, c'est l'échelle stratigraphique des temps géologiques

Au sein de cette échelle, le temps est découpé en **ères**, comportant plusieurs **périodes**, elles-mêmes subdivisées en **étages**.

Chaque étage est défini à partir de son contenu paléontologique, étalonné grâce à un affleurement de référence que l'on appelle le **stratotype**.

Par exemple, le **Toarcien** a été déterminé grâce aux associations d'ammonites trouvées dans les strates sédimentaires d'une carrière près de Thouars (Deux-Sèvres – France).

Aujourd'hui, de nouvelles données (anomalies magnétiques, mesures du δO^{18} des sédiments marins ou des glaces polaires) y sont intégrées et permettent d'affiner le découpage temporel, par exemple pour le Quaternaire.

Échelle très détaillée sur le site du BRGM (Bureau de recherche géologique et minière)

http://sigespec.brgm.fr/IMG/pdf/charte_brgm_de_l_echelle_des_temps_geologiques.pdf

La limite entre le Crétacé (K) et le Tertiaire (T)

