

Les roches sédimentaires dans le cycle des roches

La géosphère et les systèmes de la Terre Cours

Idées importantes du syllabus :

- Nous vivons dans un monde cyclique constitué de quelques sous-systèmes (géosphère, hydrosphère, atmosphère et biosphère) qui coexistent en raison des flux de matière et d'énergie qui passent de l'un à l'autre.
- Les humains sont une partie intégrante du système naturel et doivent donc agir selon les lois cycliques naturelles.
- Les sources d'énergie qui activent le cycle des roches sont l'énergie interne, et l'énergie externe, solaire.

Capacités IESO:

- Localiser un phénomène de la géosphère dans le cycle des roches. Adopter une pensée cyclique.
- Connaissances de base sur les processus actifs à l'intérieur des systèmes physiques de la Terre
- Avoir une pensée systémique : reconnaître et comprendre les relations réciproques du transfert d'énergie et de matière dans et entre les systèmes de la Terre, y compris la biosphère. Identifier les composants d'un système de la Terre, les caractériser (taux, taille, complexité), identifier les interactions entre les composants. Identifier un système comme cyclique, avec une conservation de la quantité de matière, mais des flux de matière à taux variable.
- Comprendre la place des systèmes humains dans le cadre des systèmes de la Terre.
- Penser dans la dimension des temps géologiques, dans l'espace en 3D (propre aux sciences de la Terre). Identifier les temps des processus (temps à l'échelle humaine, historique, géologique).
- développer une vision environnementale : pensée cyclique et pensée systémique ;

Au cours d'un cycle, il y a passage par différentes étapes puis retour à une situation « initiale ». Le cycle peut se répéter, on revient toujours à des conditions analogues en un temps qui peut être variable. Dire qu'il y a un cycle des roches signifie qu'elles ne sont pas aussi statiques que l'on pourrait l'imaginer, mais qu'elles se forment, se transforment, ou disparaissent et se forment à nouveau. Dans l'étude faite précédemment sur les roches sédimentaires, leur structure, leur origine, leurs propriétés, peut-on déceler une évolution cyclique de la matière ? A quoi est-elle due ? Est-elle rapide ?

I-Evolution des roches et cycles sédimentaires

A- Les éléments des roches sédimentaires proviennent de roches-mères diverses

Rares sont les roches qui se forment à la **surface** de la Terre, comme les évaporites. Les **roches magmatiques, métamorphiques ou sédimentaires** se forment en profondeur, et elles sont stables dans les conditions qui ont présidé à leur formation. Donc, toutes les roches qui se trouvent en surface sont en **déséquilibre physico-chimique**, et d'autant plus que les conditions de surface sont éloignées des conditions de leur formation.

Toutes les roches en surface sont donc susceptibles d'être altérées et d'être à l'origine de sédiments, elles sont alors appelées les **roches mères**.

B- Les étapes de formation des roches sédimentaires sont des étapes du cycle sédimentaire

Comme nous l'avons vu dans la fiche sur l'origine des roches sédimentaires, d'une roche-mère à une roche sédimentaire se succèdent plusieurs étapes :

- **l'altération / dissolution** : modification des propriétés physico-chimiques des minéraux et des roches par les agents atmosphériques, par des processus chimiques
- **l'érosion** : désagrégation des roches et enlèvement des débris (au sens large, l'érosion inclut l'altération)
- **le transport** : par des fluides (eau, air, glace)
- **la sédimentation** : arrêt du transport qui conduit au dépôt de sédiments
- **la diagenèse** : transformation des sédiments en roche sédimentaire solide

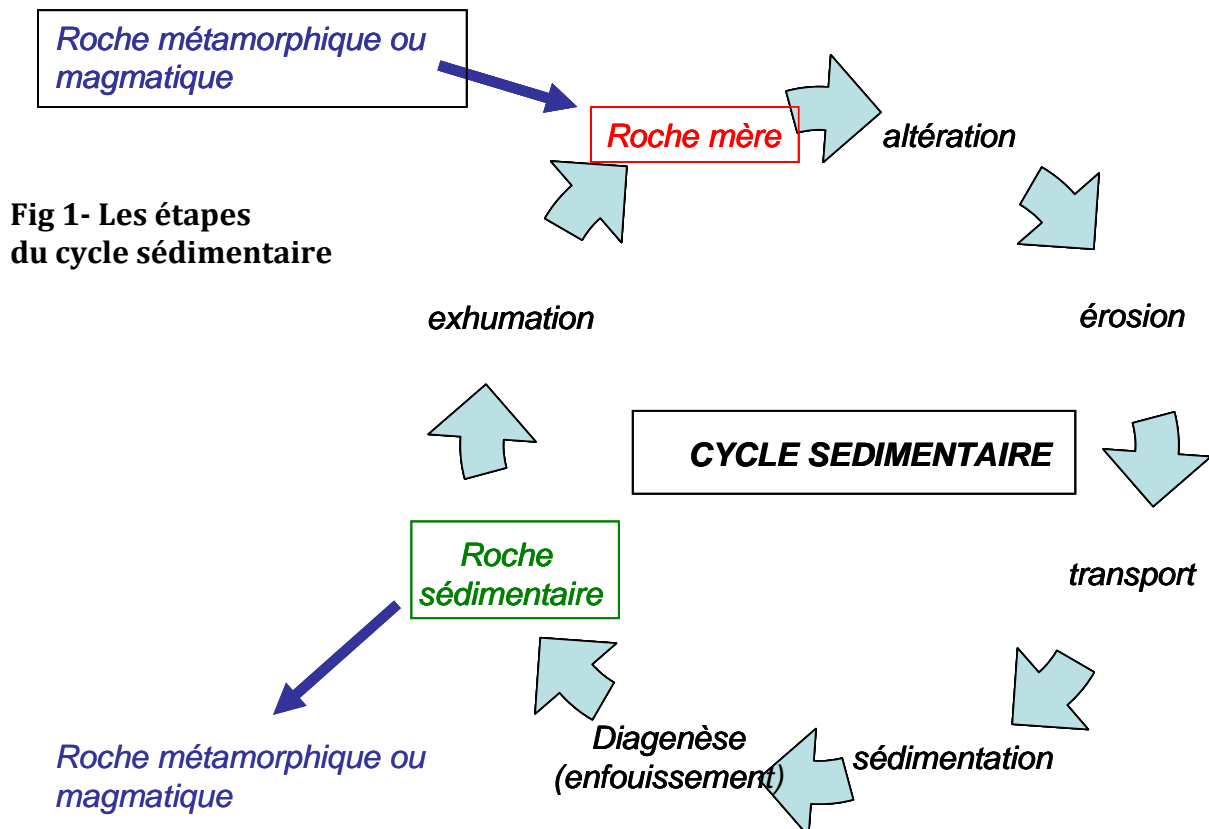


Fig 1- Les étapes du cycle sédimentaire

Le **cycle sédimentaire global, ensemble des phénomènes qui transforment les roches-mères en différents lieux et moments**, masque la diversité des natures, des processus, des conditions qui conduit à la diversité des roches sédimentaires. Une même roche-mère peut d'ailleurs donner plusieurs roches différentes : par exemple, un granite peut donner du sable ou du grès (selon la diagenèse) et de l'argile après transport et tri des éléments selon leur taille et selon l'agent de transport. A un moment donné, il y a donc une **infinité de cycles** différents par les mécanismes mis en jeu, qui se déroulent à des **vitesse différentes** selon l'altérabilité des roches-mères dans les conditions où elles sont placées. L'approche quantitative globale est donc délicate à établir, elle peut se faire par exemple par évaluation de la sédimentation océanique.

Les roches sédimentaires sont en équilibre physico-chimique et donc stables dans leur conditions de formation, c'est-à-dire la diagenèse, qui se produit de quelques centaines de mètres de profondeur à quelques milliers.

C- Une roche sédimentaire devient roche mère si elle est remise à l'affleurement.

L'exhumation des roches est possible :

- par des **phénomènes tectoniques**, par exemple dans l'orogénèse des chaînes de montagne
- par l'**érosion** qui fait disparaître les roches qui les surmontaient.

Les deux phénomènes peuvent d'ailleurs se combiner, c'est le cas lors de la remontée isostatique des chaînes de montagnes au fur et à mesure de leur érosion. Ces processus exhument tous les types de roches.

Les roches sédimentaires nouvellement formées et exhumées sont soumises à leur tour à l'altération en surface et deviennent des nouvelles roches-mères. Elles ne gardent la mémoire du cycle précédent que par des particules qui auraient résisté à l'altération, comme des grains de quartz ou de zircon, issus de roches magmatiques et qui se retrouvent dans des grès sédimentaires plus jeunes.

On a donc ainsi parcouru un cycle en revenant au point de départ.

II- Relation entre le cycle sédimentaire et les cycles externe et interne

A-Deux cycles à localisation différente :

1-Le cycle externe :

→ Il se déroule à la surface de la Terre,

et donc principalement au sein de l'**atmosphère** et de l'**hydrosphère**, qui sont des milieux **fluides, mais au contact de la géosphère.**

→ Ce cycle est très lié au cycle de l'eau :

l'eau s'évapore, condense, tombe par gravité dans l'océan ou sur les continents, puis circule alors jusqu'aux cours d'eau et à l'océan.

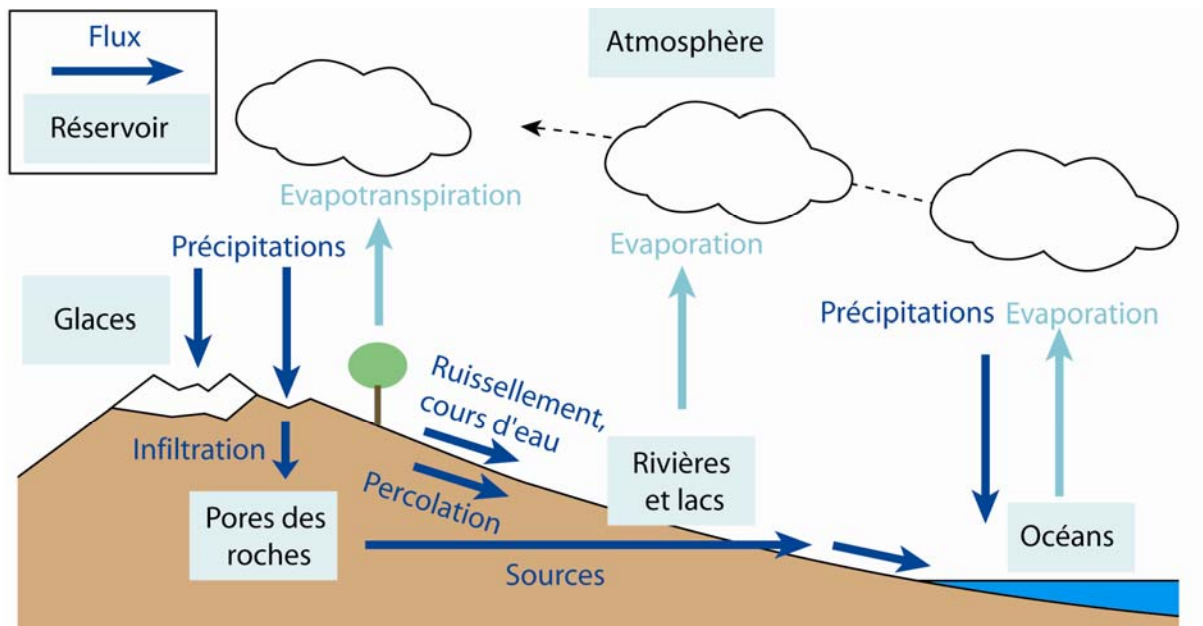


Fig 2 - Le cycle de l'eau (SaE)

On estime à 35 000 ans le temps nécessaire au passage de toute l'hydrosphère ($1,5 \cdot 10^{21}$ kg) au niveau des cours d'eau. Le cycle de l'eau met donc en jeu de **faibles masses** mais à vitesse **relativement rapide**. L'eau entraîne les particules dissoutes et détritiques : le cycle externe recouvre donc le cycle sédimentaire. Il y a donc un **lien fonctionnel entre hydrosphère et géosphère**.

→ Le cycle externe participe à l'érosion des continents : un cycle continental

On estime que l'érosion chimique (altération/dissolution) enlève 6 à 7 mm en 1000 ans à la surface des continents. L'érosion mécanique enlève environ 70 mm en 1000 ans. Ce n'est qu'une moyenne, car l'intensité de l'érosion est très variable

- selon le climat : température élevée et fortes précipitations favorisent l'érosion.
- selon la végétation : elle favorise l'érosion chimique (acides organiques et CO_2 produit par la respiration des racines acidifient les eaux d'infiltration), elle limite l'érosion mécanique (le sol et les racines protègent la roche du sous-sol du ruissellement) ; la végétation dépend du climat.
- selon les roches : les roches peu cohérentes, friables, solubles sont plus facilement déblayées.

Ainsi le cycle sédimentaire est un mécanisme d'aplatissement des reliefs continentaux. On estime qu'à raison de $15 \cdot 10^9$ tonnes par an de particules mises en suspension et $4 \cdot 10^9$ tonnes par an mises en solution, les reliefs devraient être arasés en 50 millions d'années.

Cependant la majeure partie des produits issus du cycle sédimentaire rejoignent les zones océaniques proches : l'érosion des continents conduit au comblement des océans.

→ Il existe aussi un cycle océanique externe

Dans les milieux sous-marins, les roches volcaniques de la lithosphère océanique et les matériaux d'origine biologique (calcaire, silice) sont des roches-mères soumises à

altération et dissolution. Elles participent après transport et sédimentation, avec les solutés apportés par les eaux continentales, à la formation :

- de roches carbonatées au-dessus de la **profondeur de compensation**, car au dessous, tous les calcaires sont dissous
- de roches siliceuses
- des argiles rouges des grands fonds (en dessous de la profondeur de compensation, du fait de l'absence des carbonates).

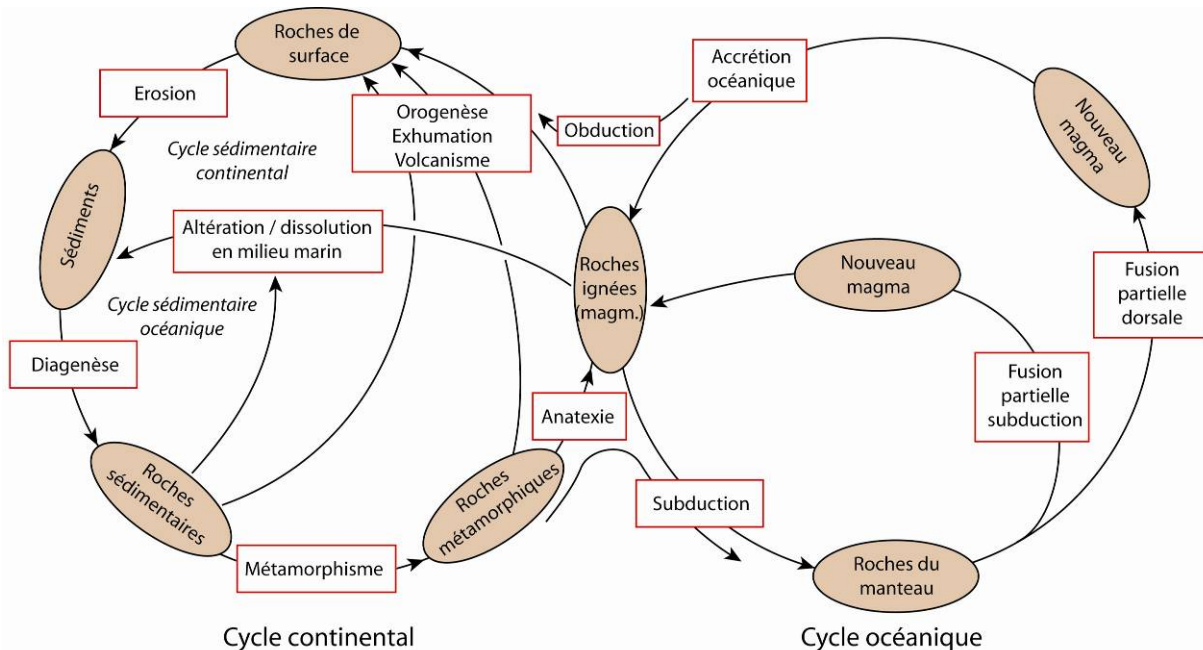


Fig 3 - Place du cycle sédimentaire dans le cycle des roches

2-Le cycle interne :

Situé sous la surface terrestre, il touche surtout la croûte terrestre et le manteau, donc la **géosphère** essentiellement à l'état **solide**. Il se manifeste en surface par la **formation de la lithosphère océanique** au niveau des dorsales, après fusion partielle du manteau, puis cristallisation fractionnée. Ensuite la lithosphère s'épaissit en se refroidissant et en se déplaçant latéralement.

Les plaques lithosphériques océaniques, lorsqu'elles deviennent plus denses que le manteau, plongent au niveau des **zones de subduction**. Elles sont réincorporées au manteau dont elles étaient issues, elles perdent leur individualité mécanique. Par contre, elles restent solides, dans un manteau solide, et hétérogène chimiquement. Les fragments de plaques lithosphériques semblent pour certains s'arrêter vers 700 km, d'autres seraient détectés à la limite du noyau vers 2900 km de profondeur.

Ce cycle est bouclé par des cellules de convection, grâce à un fluage lent des roches solides et chaudes. Contrairement au cycle externe, il met en jeu des volumes et des masses considérables, mais à très faible vitesse.

On estime à 300 millions d'années le temps de bouclage d'une cellule de convection. Chaque année, 300 km³ de lithosphère océanique disparaissent dans le manteau. **Ceci a permis plusieurs recyclages du manteau depuis la naissance de la planète Terre.**

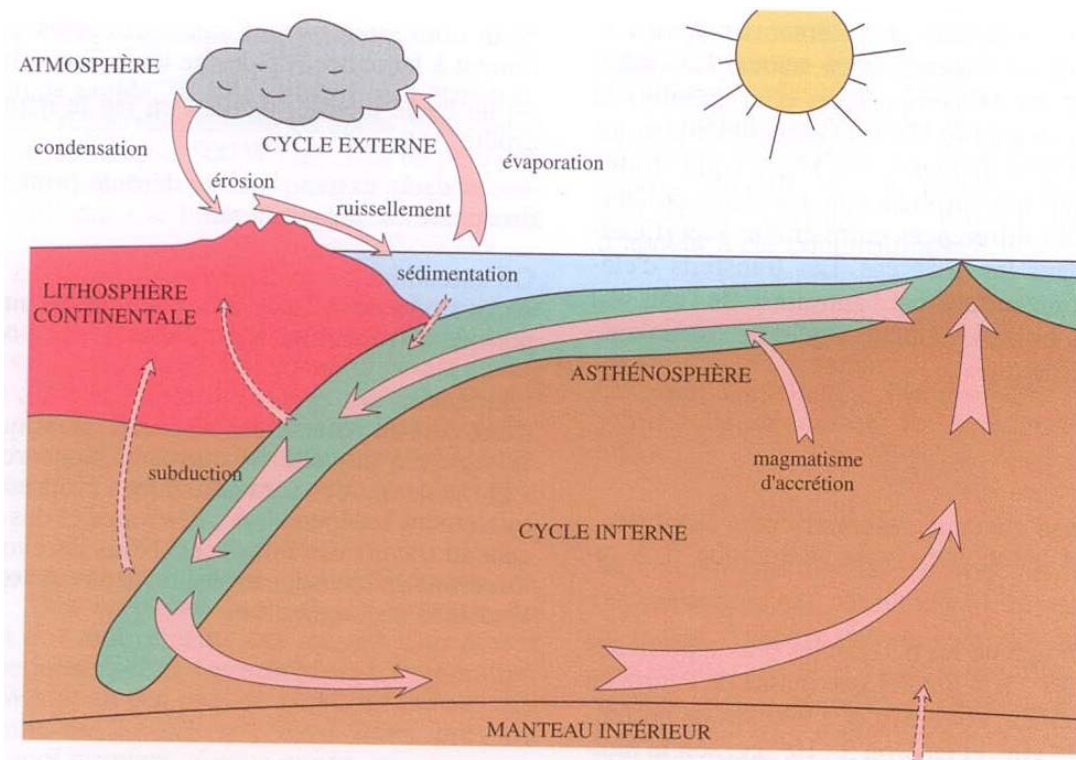


Fig 4 - Cycle externe et cycle interne (J.M. Caron et al., *Comprendre et enseigner la planète Terre*, ed. Ophrys)

3-Les transferts de roches entre cycle externe et cycle interne

→ Les roches de surface retournent peu vers les parties internes

Les roches en surface deviennent des roches-mères de sédiments qui, par enfouissement (subsidence, subduction), donnent des roches sédimentaires, voire métamorphiques ou magmatiques. Mais, même en cas de subduction, l'enfoncement des roches sédimentaires est limité (elles s'accumulent plutôt au front de la zone de subduction sous la forme d'un prisme d'accrétion). Les magmas donnent des roches volcaniques ou plutoniques qui remontent en surface, à l'origine de nouvelles roches-mères.

Il y a donc quantitativement très peu de roches arrivées en surface qui retournent au cycle interne, pour l'essentiel, les roches arrivées en surface sont piégées dans un cycle externe, un cycle sédimentaire.

→ Des roches juvéniles arrivent en surface

Par fusion du manteau (points chauds, dorsales, zones de subduction), ou par son affleurement (dorsales lentes, obduction), des roches juvéniles issues du cycle interne arrivent en surface : il y a donc des pertes de manteau dans le cycle interne. Ces roches juvéniles rentrent alors dans le cycle externe, où nous avons vu qu'elles étaient piégées.

Le magmatisme orogénique des zones de subduction est quantitativement le principal mécanisme (voir la fiche « Magmatisme des zones de subduction »). Ainsi, **ce mécanisme augmente peu à peu la masse des continents**. On estime actuellement que cette augmentation compense à peu près la perte de continent par érosion. Les continents naissent du cycle sédimentaire, mais ce **phénomène, faible actuellement**, a

été très important au Précambrien, en particulier il y a 2 milliards d'années. Les continents représentent 45 % de la surface de la Terre, mais seulement 0,3 % en masse, ils ne sont qu'une fine pellicule superficielle.

Les cycles externes et internes sont donc différents par leur localisation, par la nature des roches concernées, par le volume des réservoirs impliqués et la vitesse des circulations de matière. Cependant, ils ne sont pas totalement indépendants, ils échangent à leur interface.

B-Des sources d'énergie permettent les cycles de la matière:

Les mouvements de matière dépendent de **deux sources d'énergie** :

- le cycle externe, superposé au cycle de l'eau, est entraîné par l'énergie solaire, donc une **énergie externe**, et par la pesanteur.
- Dans le cycle interne, les cellules de convections du manteau sont entraînées par la poussée d'Archimède et la pesanteur. C'est le flux de chaleur interne qui les rend possibles. Cette énergie est d'origine multiple :
 - o chaleur initiale d'accrétion, stockée lors de la collision des particules qui ont formé la Terre, presque épuisée désormais.
 - o désintégration d'isotopes radioactifs comme ceux de l'uranium, du thorium, ou du potassium, qui produit les $\frac{3}{4}$ du flux thermique.

Ces deux sources d'énergie sont responsables de mouvements convectifs de la matière en association avec la **gravité**.

D'après le premier principe de thermodynamique, l'énergie ne se crée pas, elle se transfère, elle se dissipe, il n'y a donc **pas de cycle de l'énergie**, mais seulement un **flux**, qui augmente peu à peu l'entropie de l'univers, c'est-à-dire une énergie non utilisable.

III- Le cycle sédimentaire est inclus dans le cycle des roches

A- Le cycle sédimentaire est ouvert (voir schéma précédent)

1-Des entrées extérieures au cycle sédimentaire

Les roches magmatiques et métamorphiques exhumées constituent un apport extérieur au cycle strictement sédimentaire et peuvent l'alimenter.

2-Des sorties du cycle sédimentaire

Des roches sédimentaires dont l'enfouissement se poursuit au point d'atteindre des conditions de pression et température qui sont celles du métamorphisme, se transforment en roches métamorphiques (apparition de nouveaux minéraux et de schistosité ou foliation).

Les conditions peuvent aussi conduire à une fusion partielle des roches de la croûte (anatexie): le liquide de fusion (= magma) donne en se solidifiant une roche magmatique.

Dans ces cas, les roches sédimentaires sont sorties du cycle. Cela implique l'intervention de phénomènes tectoniques à l'origine de l'enfouissement (subduction par exemple).

B- Les étapes du cycle des roches

1- Plusieurs cycles emboîtés

On peut donc détecter une évolution cyclique des roches sédimentaires. Elle est conditionnée par la stabilité des roches et des processus géologiques comme la tectonique et l'érosion. Par ailleurs, on voit ici qu'il n'y a pas de frontière étanche entre les catégories de roches, elles sont en relation les unes avec les autres, ce qui permet de déterminer plusieurs cycles emboîtés.

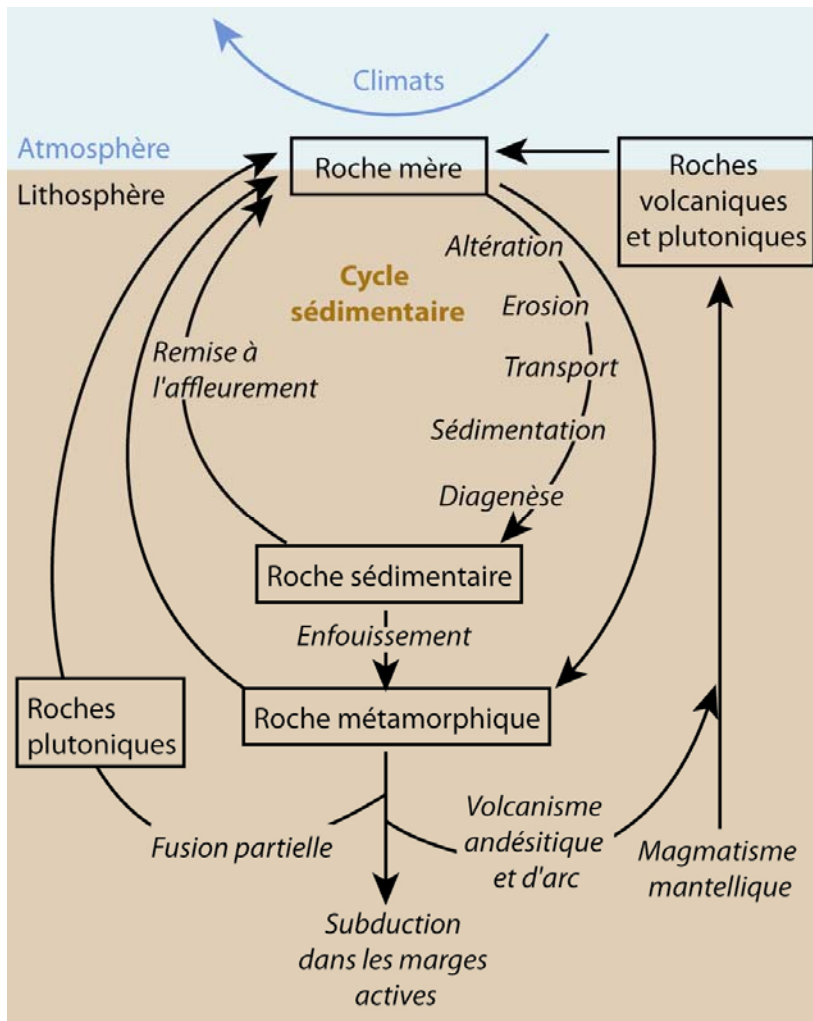


Fig 5 - Des relations cycliques entre les roches (d'après Sciences de la Terre et de l'Univers, sous la direction de J.-Y. Daniel, ed. Vuibert)

2- Un cycle des roches qui se déroule dans les domaines externe et interne

a- Toute roche en surface subit le cycle sédimentaire, qui est donc externe.

Les roches sédimentaires formées peuvent résister plus ou moins longtemps (on connaît des grès précambriens qui ont plusieurs milliard d'années), ou être recyclées dans un nouveau cycle sédimentaire.

b- Les roches magmatiques océaniques sont entraînées dans le cycle interne de la matière.

Produites au niveau des dorsales, elles sont métamorphosées dans les zones de subduction, et entraînées dans les cellules de convection.

c- Des roches sédimentaires sont recyclées en roches métamorphiques ou magmatiques en profondeur.

- une partie des sédiments des marges actives est entraînée dans la subduction, métamorphosée, et intégrée dans les cellules de convection. Elle est donc passée dans le cycle interne.

- dans les zones orogéniques, lors du raccourcissement, des roches sédimentaires sont entraînées en profondeur et recyclées par métamorphisme et fusion. Cependant, elles sont piégées en profondeur, sans entrer dans le cycle interne. L'érosion et la tectonique pourront les porter en surface, où elles entreront dans un nouveau cycle sédimentaire.

d- Des roches magmatiques sont recyclées en roches sédimentaires.

Le matériel magmatique des points chauds, issu du manteau inférieur, n'y sera pas recyclé : il intégrera le cycle externe sédimentaire ou les cellules de convection du manteau supérieur (cycle interne).

Au niveau des zones de subduction, les roches magmatiques issues du manteau, éventuellement de la plaque lithosphérique océanique ou de la croûte continentale, seront portées rapidement en surface, où elles seront livrées au cycle sédimentaire.

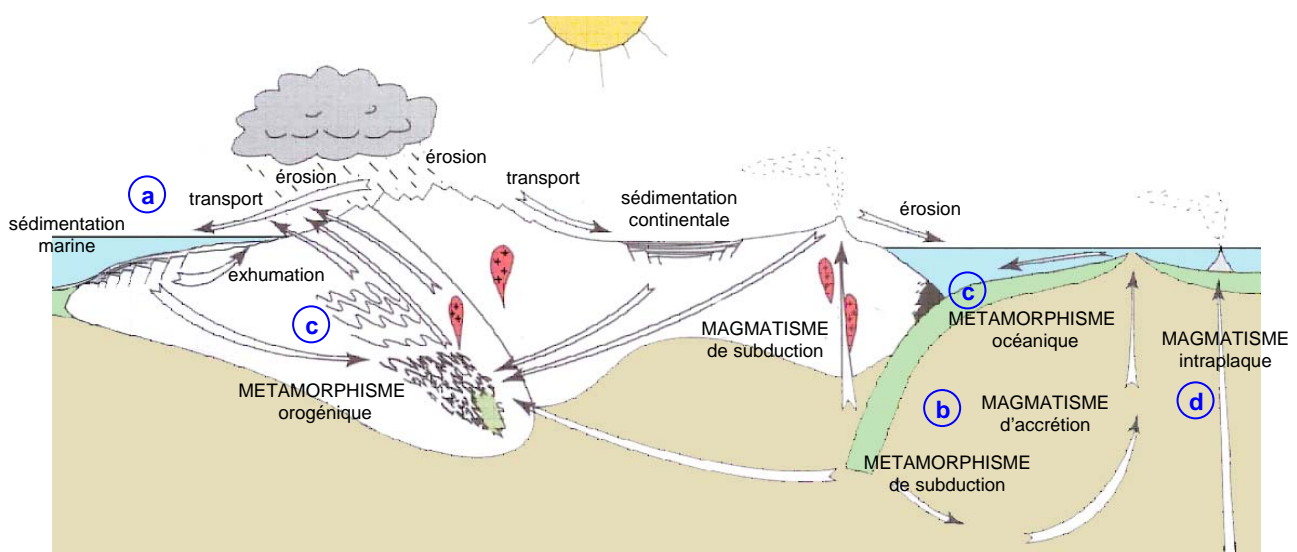


Fig 6 - Le cadre du cycle des roches au niveau de la croûte et du manteau : cycle interne et cycle externe (J.M. Caron et al., Comprendre et enseigner la planète Terre, ed. Ophrys)

L'étude des roches sédimentaires, roches de surface, permet donc, non seulement de retracer leur histoire, mais aussi de comprendre le fonctionnement de la Terre : cette étude participe à retracer l'histoire de notre planète. Il apparaît que, fondamentalement, ce fonctionnement **au niveau des roches** est basé sur des **cycles** multiples dans lesquels **la matière est continuellement recyclée** : **cycle sédimentaire, cycle pétrologique, cycle externe continental et océanique, cycle interne**. Tous ces cycles interfèrent avec de multiples cycles de la matière : **cycle de l'eau, cycle du carbone, cycle des silicates...** et dépendent d'un **flux d'énergie, progressivement dissipée**. Par ailleurs, ces cycles des roches participent à façonner la surface de la Terre, en relation avec les **cycles orogéniques** : les reliefs créés par convergence des plaques sont érodés, laissant la place à des zones de sédimentation, qui donneront le matériel de l'orogène suivant... L'apport des observations de surface est donc riche sur le fonctionnement de la lithosphère et du manteau. Il est beaucoup plus difficile d'analyser la participation du noyau au fonctionnement de la Terre.

Bibliographie :

- *Sciences de la Terre et de l'Univers*- dir. J.-Y. Daniel – Vuibert chap.5 p.173
- *Comprendre et enseigner la planète Terre* – dir. J.-M. Caron - Ophrys