

Chapitre II. Géodynamique externe

Dans le cadre de la géodynamique externe, on étudie l'ensemble des processus qui affectent la surface de la Terre. On s'occupe des enveloppes externes du globe terrestre, atmosphère, hydrosphère, et de leur interaction avec la surface de la Terre.

1. Le cycle de la géodynamique externe

Les roches sont altérées par des agents physiques, chimiques et biologiques, ce qui produit des particules sédimentaires. Les particules sont ensuite transportées par l'eau, la glace, le vent ou la gravité vers un lieu d'accumulation. L'accumulation des particules donne un sédiment qui est progressivement recouvert par d'autres sédiments et se transforme peu à peu en roche (sous l'effet de plusieurs processus qu'on appelle diagenèse). La roche obtenue est une roche sédimentaire, qui est ensuite elle-même exposée à l'action des agents de l'érosion, et ainsi le cycle recommence (figure.01).

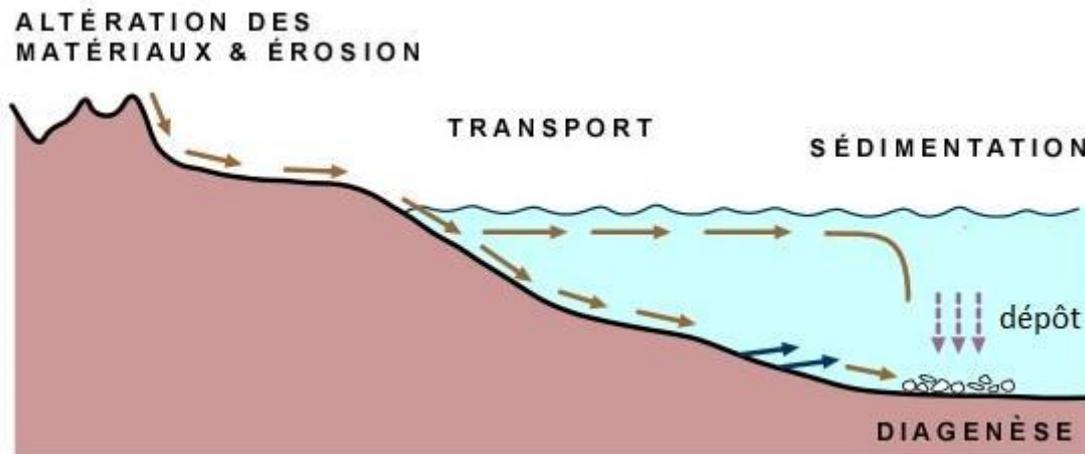


Figure.01. le cycle de la géodynamique externe (représentation simplifiée)

1.1. Altération

L'**altération** est l'ensemble des modifications chimiques et physiques qui affectent les sédiments et les roches exposés à l'atmosphère, à l'hydrosphère et à la biosphère. Elle est une des composantes de l'**érosion**, qui comprend également la destruction mécanique des roches.

L'altération désigne donc l'ensemble de transformation des roches par des processus physiques (mécaniques), chimiques et/ou biologiques (Plantes et animaux) en surface. Ces modifications se font par des agents atmosphériques, les eaux souterraines et thermales (altération hydrothermale). Elle est contrôlée en particulier par :

- la solubilité des minéraux,
- la nature et la structure de la roche (degré de fracturation),
- le climat (température et précipitations),
- la présence de sol et de végétation,
- la durée d'exposition.

Cours de géologie générale (SNV)

L'**altération** a généralement pour effet de rendre les roches moins cohérentes, ce qui **facilite** leur désintégration par l'**érosion**. Il existe différents **processus** d'altération :

- les **processus chimiques** entraînent une modification de la composition chimique ou une dissolution des minéraux de la roche. Ils nécessitent la présence d'eau et sont de loin les plus importants ;
- les **processus physiques** provoquent une fragmentation mécanique de la roche sans affecter la composition des minéraux ;
- les **processus biologiques** conduisent également à une fragmentation ou à une détérioration chimique des roches par l'action d'organismes vivants (animaux, plantes, bactéries).

L'**altération physique (désagrégation mécanique)** produit la fragmentation des roches, suite à un certain nombre d'agents physiques. Les variations de température entraînent la dilatation ou la contraction des roches: soumise à des variations de volume incessantes, un roche se fissure puis éclate (**thermoclastie**). L'eau qui pénètre dans les fissures et les pores puis gèle avec augmentation de volume ajoute son effet. Les cristaux de glace s'accroissent perpendiculairement à la surface de la fente et augmentent son ouverture: la roche est gélive, elle éclate sous l'effet du gel (**cryoclastie**). La cristallisation du sel ajoute son action le long des littoraux et dans les zones désertiques. Près des côtes, les embruns salés pénètrent dans les pores des roches. Les cristaux de sels s'y développent et produisent des craquelures (**haloclastie**).

L'**altération chimique** des roches se fait en présence d'eau; elle a lieu essentiellement en climat humide. Les réactions sont des **hydrolyses**, des **dissolutions**, accessoirement des **oxydations**, des **hydratations**, des **décarbonatations** pour les roches calcaires. Les éléments solubles sont lessivés en partie, parfois en totalité sous les climats très agressifs. Les parties insolubles restent sur place telles quelles ou se recombinaient avec les ions disponibles (phénomène d'héritage).

Dissolution :

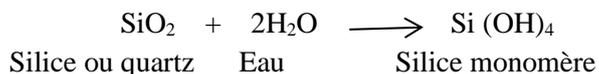
Dissociation d'une molécule en ions par un solvant. Dans le cas de la météorisation, le solvant C'est l'eau. Ce processus implique les roches salines: sel gemme, gypse.....

Exemples:

* *Sel gemme et autres évaporites* sont fortement solubles :

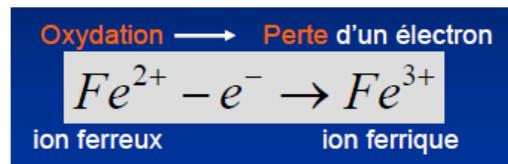


* *Quartz et autres silicates* : très faiblement solubles (6 ppm pour le quartz dans les eaux de surface) :

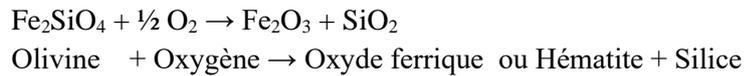


Oxydation :

Provoquée par l'oxygène de l'air, l'oxydation est importante pour les minéraux contenant du fer.



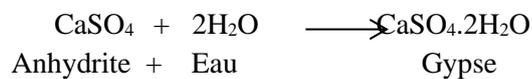
Exemple :



Hydratation :

Concerne les roches composées de minéraux peu hydratés susceptibles de fixer la molécule d'eau, tels que les oxydes de fer; elle produit un gonflement du minéral et donc favorise la destruction de la roche. C'est le phénomène inverse de la déshydratation.

Exemple:



Décarbonatation :

Elle produit la solubilisation des calcaires et des dolomies généralement sous l'action du CO₂ dissous dans l'eau.



Hydrolyse :

L'hydrolyse, c'est à dire la destruction des minéraux par l'eau, sont les principales réactions d'altération, autrement dit c'est le processus par lequel un cation d'un minéral est remplacé par le H⁺ ou OH⁻ d'une solution acide ou de l'eau.

L'**hydrolyse totale** caractérise les zones tropicales et équatoriales (climats chauds et humides). C'est une altération géochimique pure qui dissocie les silicates en éléments solubles. Ceux-ci pourront se recombinaer et donner naissance à des argiles de néoformation (Kaolinite, si le lessivage est fort : goethite et gibbsite).

L'**hydrolyse partielle** lorsque la dégradation est incomplète et donne directement des composés silicatés (argiles). Ces composés diffèrent selon les conditions de milieu. L'**hydrolyse incomplète** réalisée dans les milieux tempérés donne naissance à des argiles dites héritées (Illite, montmorillonite, chlorite et vermiculite).

2. Erosion et transport

L'érosion est définie comme «l'ensemble des phénomènes externes, qui, à la surface du sol ou à faible profondeur, enlèvent tous ou partie des terrains existants et modifient ainsi le relief.» Les agents de l'érosion (et du transport) sont le vent, les eaux courantes et la glace, et, de façon plus limitée, la gravité.

2.1. L'action du vent

L'**action du vent** se manifeste surtout dans les régions où la végétation est absente, car les sédiments se déplacent facilement: c'est le cas des déserts (chauds ou froids) ou des rivages qui bordent les mers (les plages). Le climat devient désertique quand les précipitations sont inférieures à 250mm/an. Le vent peut être à la fois un agent d'érosion et de transport.

Erosion du vent = érosion éolienne (remarque: tout ce qui se rapporte au vent est qualifié «d'éolien») est exprimée par la **déflation** et la **corrasion**.

- **La déflation**

En fonction de la vitesse du vent, des particules de taille variables ont transportées, on parle de **déflation éolienne** (autrement dit la **déflation** consiste à l'enlèvement des particules par le vent): les particules les plus fines sont transportées en **suspension** (il s'agit en général de poussières), les autres se déplacent par **saltation** (les grains de sable) ou par **reptation** ou **roulement** pour les plus grosses (figure.02). Le vent élimine donc les matériaux les plus fins, et ne laisse sur place qu'un **désert de cailloux** (le **reg**). Il peut aussi entraîner la formation de dépressions fermées désertiques, qu'on appelle **chotts** ou **sebkhas** au Sahara (figure.03).

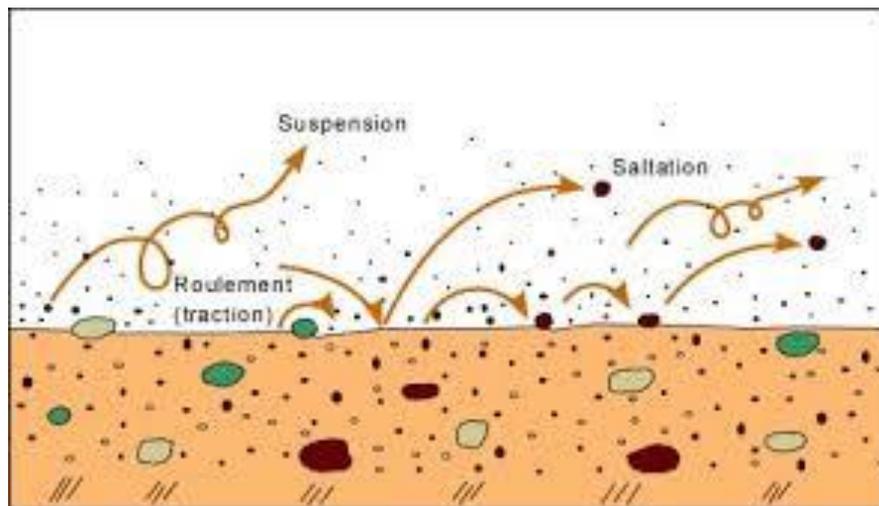


Figure.02. Différents mécanismes de mouvements des particules.

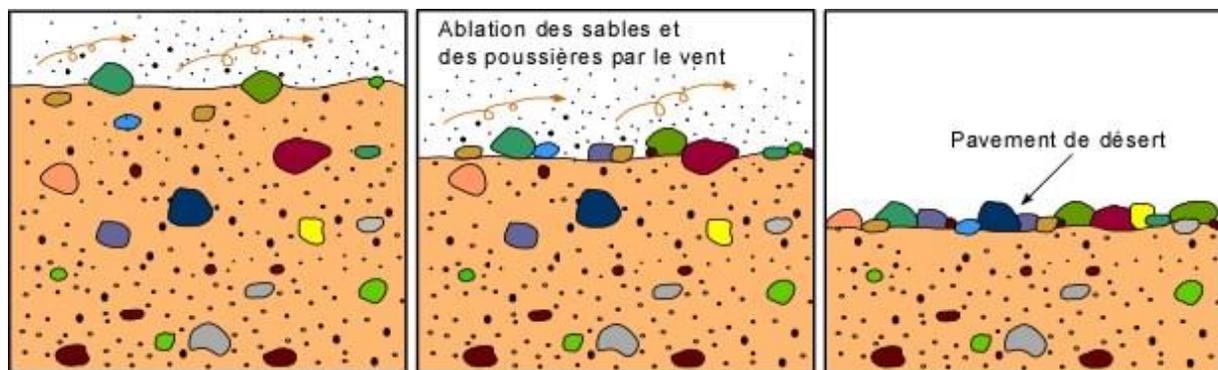


Figure.03. Formation d'un désert de cailloux (pavement de cailloux) : le **reg**

- **La corrasion**

Les grains de sable transportés par le vent peuvent altérer les roches sur lesquels ils sont projetés, en créant de nombreux chocs: ils sont par exemple responsables de la formation de cailloux aux formes géométriques, façonnés par le vent. La **corrasion** est responsable de la formation des **reliefs en champignons**.

- **Sédimentation éolienne**

Quand la force du vent diminue, les particules qu'il transport se déposent et forment des **dépôts éoliens**.

Les **dunes** sont des dépôts de sable hauts de quelques mètres à plus de 100 m, en général constitués de grains de silice (quartz), plus rarement de gypse. Il existe plusieurs types de dunes : des dunes en forme de croissant appelées **barkhanes**, des dunes **transversales**, des dunes **en forme d'étoile**..... leur forme dépend de l'orientation et la force du vent (figure.04).

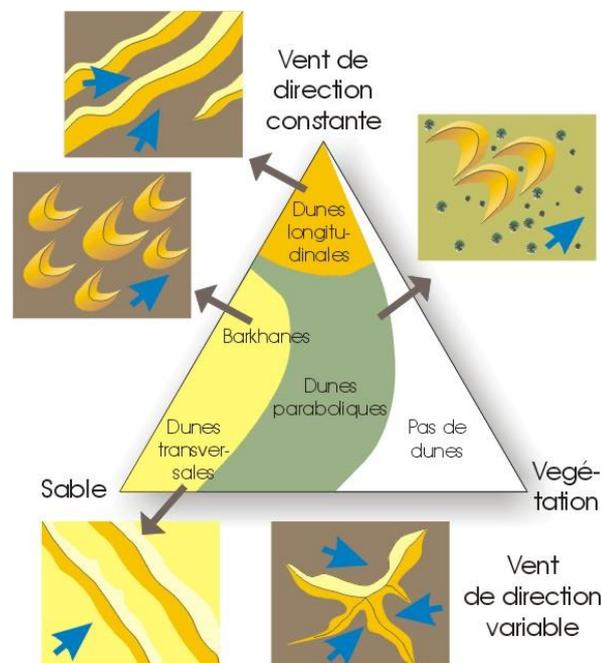


Figure.04. Les principaux types de dunes éoliennes

2.2. L'action de l'eau :

C'est le facteur d'érosion le plus important. Les **eaux de précipitations** qui atteignent le sol se partagent en trois composantes :

Une partie **s'infiltr**e dans le sol et alimentera les eaux souterraines, une autre **s'écoule** à la surface du sol (les **eaux de ruissellement**) et la dernière **s'évapore** à partir des surfaces d'eau libre ou de la végétation (**l'évapotranspiration**) (figure.05).

L'action de **l'eau de ruissellement** dépend surtout de la quantité d'eau précipitée pendant un minimum de temps (les pluies des orages sont ainsi responsables d'une érosion importante des continents).

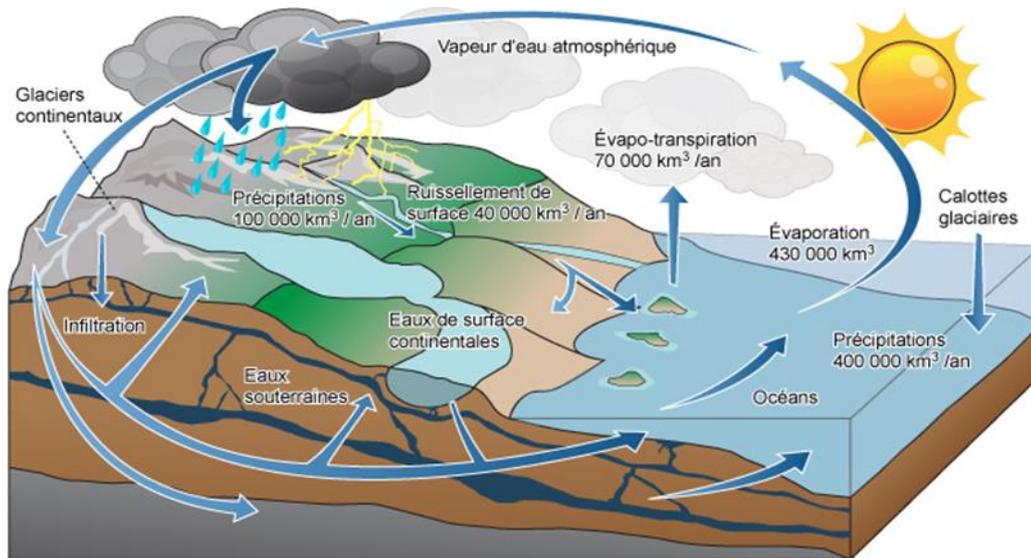


Figure.05. Cycle naturel de l'eau

Après avoir ruisselé, les eaux de pluie se rassemblent dans un chenal bien délimité et s'écoulent vers des cours d'eau plus importants. Quand les cours d'eau sont **temporaires** (l'eau est absente pendant une partie de l'année), ils sont appelés **torrents** ou **oueds**.

Quand ils sont **permanents** (l'eau est toujours présente), on les appelle **rivière** ou **fleuves**.

Les cours d'eau peuvent être à la fois des agents d'érosion, de transport et de dépôt, en fonction de la vitesse du courant et la taille des particules transportées. Il existe deux types d'écoulements :

- Ecoulement non canalisé (ruissellement sur une pente)
- Ecoulement canalisé, sur un ou plusieurs chenaux (torrents, rivières,...)

Un **torrent** est un cours d'eau de montagne caractérisé par une forte pente. Le torrent se divise en trois secteurs aux comportements morphologiques distincts : une zone dominée par l'érosion (**le bassin de réception**), une zone dominée par le transit sédimentaire (**le chenal d'écoulement**) et une zone de ralentissement dynamique propice à l'accumulation (**le cône de déjection**).

Les **rivières** et les **fleuves** sont des cours d'eau **permanents** qui prennent naissance à partir de sources de nappes (ex : Seine, Loire), de la fonte des glaciers (ex : Rhin, Rhône). Ces cours d'eau convergent vers un fleuve qui se dirige soit vers l'océan, soit vers des lacs ou des lagunes.

Au niveau des embouchures de fleuves, deux milieux aux caractéristiques différentes sont mis en présence :

- **Les estuaires** sont des embouchures dans les mers à courants côtiers et à courants de marées importants. Il y a le plus souvent pénétration du milieu marin en milieu continental. L'eau de mer prend directement le relais concernant le transport des matériaux.

- **Les deltas** sont des embouchures de fleuves riches en matériaux détritiques dans les mers (ou les lacs) à marées de faible amplitude. Les matériaux détritiques sont alors peu ou pas déblayés par les courants.

2.3. L'action de glaciers

Sous climat froid et humide, la **neige** se transforme en **glace** par compaction et tassement. Ce sont des chutes de neige qui sont à l'origine des **glaciers continentaux** ; et le gel de l'eau de mer est à l'origine de la **banquise**.

a. Description des glaciers :

Les glaciers sont des montagnes constituées de différentes zones (figure.06) :

- **Le cirque glaciaire** : c'est dans cette zone de forme circulaire située la plus en altitude, que s'accumule la neige.
- **La langue glaciaire** : a une forme allongée, c'est dans cette zone que le glacier s'écoule. Sa surface est souvent couverte de débris : on parle de **moraines**.

b. Effets de glaciers :

Les glaciers peuvent être à la fois responsables d'érosion et d'accumulation :

- **Les formes d'érosion** : en se déplaçant, les **glaciers érodent les roches** sur lesquels ils se glissent, une **vallée glaciaire** a donc un fond plat et profil typique en forme de U.
- **Forme d'accumulation** : en fondant, les **glaciers** laissent sur place des blocs et des débris de toute taille qui formaient les **moraines**.

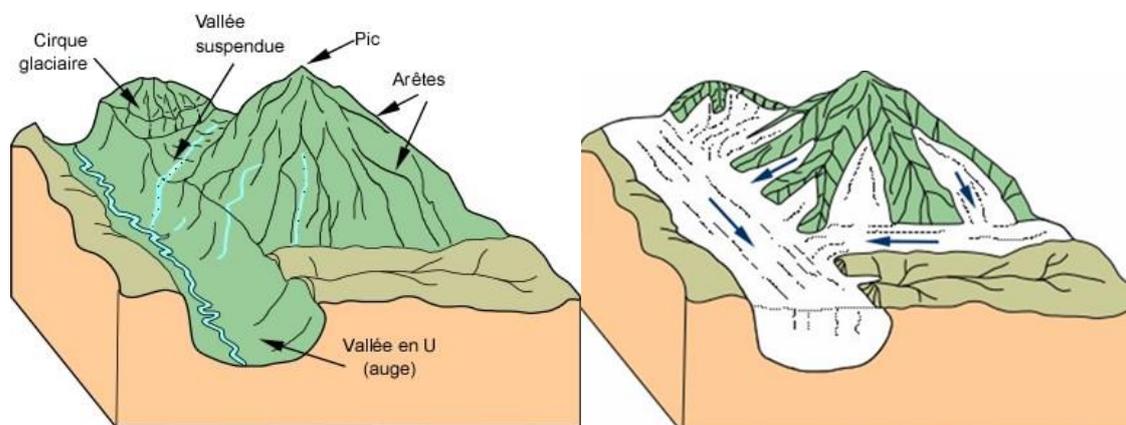


Figure.06. Morphologie d'un glacier de montagne

3. Milieux de dépôt :

Les éléments destinés à former un sédiment sont transportés à l'état solide ou en solution. Ils se déposent ou précipitent ensuite dans **un milieu de sédimentation**.

Un **milieu de sédimentation** est un **bassin (dépression)** où règne un ensemble de facteurs physiques, chimiques et biologiques suffisamment constants pour former un **dépôt** caractéristique, ce

dépôt se forme par des couches horizontales; **exemples** : milieu fluviatile, milieu lacustre, milieu deltaïque, milieu marin (figure.07).

Ainsi, le géologue pourra reconstituer les conditions ayant régné dans un milieu ancien à l'aide des caractéristiques de ses dépôts.

Principaux milieux de sédimentation

Les milieux continentaux : les dépôts continentaux résultent de déséquilibres dans la dynamique du transport par l'eau, le vent et la glace **exemple** : les **milieux glaciaires**, les **milieux fluviatiles**, les **environnements éoliens**....

Les milieux intermédiaires : Ils sont situés aux limites du domaine marin et du domaine continental et présentent des caractères mixtes **exemple** : les **estuaires** et les **deltas**.

Les milieux marins : ils sont localisés sous les mers et les océans, hors de l'influence de continent, ils comportent trois milieux : **milieux littoraux** (plage et plate-forme littorale), **milieux de talus sous-marin**, **bassin et fosse océaniques**.

4. Les roches sédimentaires

Il existe trois types de roches : les roches **sédimentaires**, les roches **métamorphiques** et les roches **magmatiques**. Une roche **sédimentaire** se forme après le dépôt des sédiments, suite à la **diagenèse**.

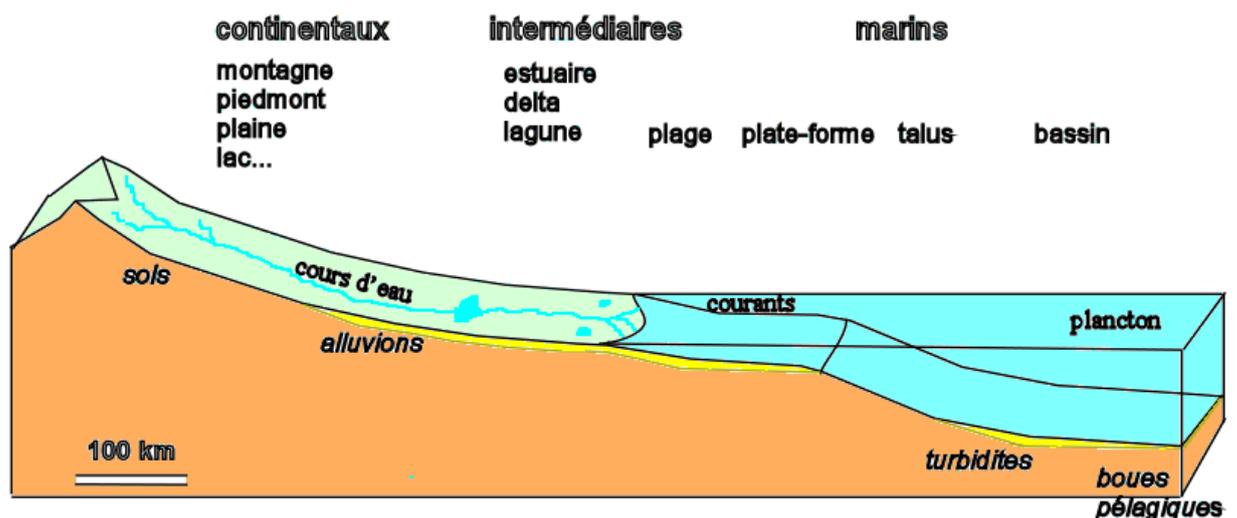


Figure.07. Principaux milieux de sédimentation

La **diagenèse** consiste en leur transformation physico-chimique et biologique en **roches sédimentaires compactes** (solides). Cette transformation se fait, à faible profondeur (conditions de pression et de température peu élevées), en plusieurs étapes, plus au moins respectées selon la nature du sédiment.

Les **roches sédimentaires** sont des roches **exogènes** (c'est-à-dire formées à la surface de la Terre ou à quelques kilomètres de profondeur) qui représentent **5 %** en volume de la croûte terrestre. Elles sont très répandues à la surface (elles couvrent **75 %** de la surface) sous forme de couches recouvrant les roches métamorphiques et magmatiques (surfaces totales des terres émergées).

Les **roches sédimentaires** ont une grande importance du point de vue économique : le pétrole, le gaz, le charbon, l'uranium, les matériaux de construction sont d'origine sédimentaire. Elles ont aussi une importance scientifique : c'est le seul type de roches contenant des fossiles.

Un sédiment : est un ensemble de particules en suspension dans l'eau, l'atmosphère ou la glace et qui a fini par se déposer sous l'effet de la gravité, souvent en couches ou strates successives. Un sédiment est caractérisé par sa nature (composition physicochimique), son origine, sa granulométrie, les espèces qu'il contient.

4.1. Classification des roches sédimentaires

Il est possible de classer les roches sédimentaires en trois grandes classes génétiques.

- les **roches d'origine détritique** (nommées **les roches détritiques ou terrigènes**) : résultent des dépôts des débris (morceaux, fragments, particules) arrachés par l'érosion des roches préexistantes **exemple** : blocs, galets, graviers, ... Elles représentent 85 % des roches sédimentaires présentes à la surface de la Terre. La classification des roches détritiques se base sur la taille (granulométrie) des particules. On utilise une classification dimensionnelle pour déterminer les différents types de roches détritiques (tableau.01) :

Tableau.01. classification des roches détritiques (Grabau, 1904).

Diamètre des particules	Classe granulométrique	Sédiments meubles	Roches consolidées
>2mm	Rudite	Bloc, galet, gravier	Conglomérat
De 2mm à 62µm	Arénite	Sable	Grès
<62µm	Lutite	Silt, argile	Siltite, argilite

- Les **roches d'origine chimique** : ce groupe renferme les **roches chimiques** et les roches **biochimiques**. Les premiers résultent de précipitation purement physico-chimique des éléments en suspension dans le l'eau (les éléments transportés par solution) ; par contre les deuxièmes résultent de la précipitation chimique de ces éléments en suspension dans le l'eau par l'intervention des êtres vivants. Les plantes et les animaux peuvent extraire les substances dissoutes dans l'eau pour constituer leurs tests ou leurs os et ce sont leurs restes qui constituent les roches sédimentaires d'origine biochimique.

Les roches sédimentaires d'origine **chimique** et **biochimique** sont classées d'après la composition chimique :

- Les **roches salines**, tels que le **gypse**, le **sel gemme**

- Les **roches carbonatées** exemple : **calcaire** (une roche carbonatée formée essentiellement de précipitation de **calcite** (CaCO_3), d'**aragonite** (CaCO_3); **dolomie** (une roche carbonatée formée essentiellement de **dolomite** $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$). Les calcaires constituent plus de 10 % des roches sédimentaires.
- L'eau de mer contient une grande quantité de carbonate de calcium (CaCO_3) dissoute. De nombreux organismes utilisent ce carbonate de calcium pour former leurs squelettes et autres parties dures de leurs corps. Quand ces organismes meurent, les courants marins brisent ces fragments en petits morceaux appelés **sédiments bioclastiques**. La roche formée par la lithification de ces sédiments est appelée **calcaire bioclastique**.

- les **roches biogéniques** ou **organiques** : proviennent de l'accumulation des matières organiques végétales et/ou animales dans un milieu confiné. Ces roches sont constituées essentiellement de composés du **carbone organique**. La roche formée par accumulation des restes de plantes est le **charbon**. Les phytoplanctons microscopiques et bactéries sont les sources principales de matière organique contenue dans le sédiment. La transformation des composés organiques dans les sédiments forment les **hydrocarbures (pétrole et gaz naturel)**.

5. Méthodes d'étude des roches sédimentaires :

La **pétrographie** (du grec *petra*= pierre et *graphein*= écrire) est la science ayant pour objet la description des roches et l'analyse de leurs caractères structuraux, minéralogiques et chimiques, et les relations de ces roches avec leur environnement géologique.

L'étude des roches sédimentaires début sur terrain par des descriptions des affleurements, un échantillonnage de ces différents affleurements et se termine au laboratoire par :

- **Analyses granulométriques.**
- **Analyses morphoscopiques.**
- **Analyses minéralogiques.**