

## Chapitre III

### 1. Déformations tectoniques

#### 1.1 Equilibre isostatique :

Le concept d'isostasie (ou équilibre isostatique) a été formulé afin d'expliquer que les chaînes de montagnes exercent sur un fil à plomb ou sur un gravimètre une attraction moindre que celle à laquelle on devrait s'attendre compte tenu de leur masse.

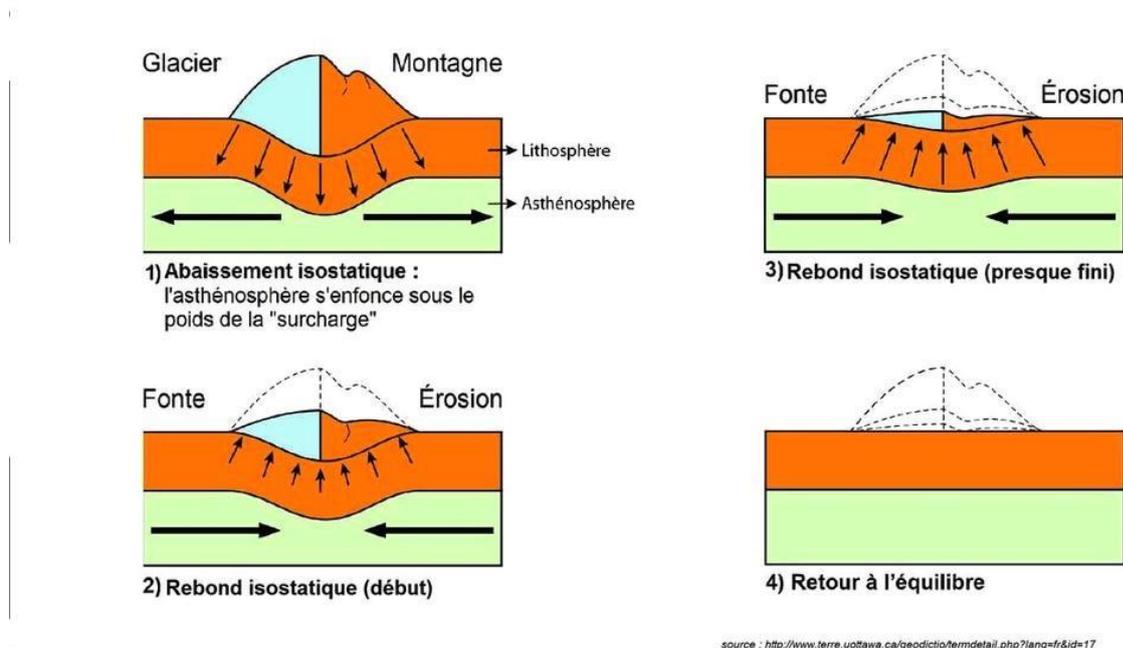
Le nom « isostasie » fut proposé par le géologue américain (**Clarence Edward Dutton 1889**). Ce néologisme est dérivé du mot grec isostasios, de iso (égal) et statikos (stable) : il signifie en gros « même équilibre stable partout ».

« Équilibre isostatique » signifie que les éléments de la croûte ou, plus généralement, de la lithosphère qui se trouvent enfouis à des profondeurs pas trop grandes (de l'ordre de 100 km, par exemple) sont soumis à la même pression indépendamment des irrégularités topographiques en surface. La profondeur à laquelle l'équilibre isostatique est atteint s'appelle « profondeur de compensation ». Cette dernière peut varier d'un endroit à l'autre.

L'équilibre isostasique possède une grande inertie. Lorsque des phénomènes de charge et de décharge sont rapides à l'échelle géologique il peut persister un déséquilibre isostasique.

Les minéraux se forment à partir de cristallisation des solutions sursaturées en divers éléments chimiques donc les roches sont le résultat d'une suite de processus physiques, chimiques et biologiques variées, suite un grand cycle dont le point de départ et d'arrivée selon laquelle les divers compartiments de l'écorce terrestre seraient maintenus dans un certain équilibre de par les différences de densité de leurs matériaux. L'isostasie désigne un état statique, et non un phénomène de rééquilibrage dynamique de l'altitude de la croûte continentale par rapport au géoïde, Un équilibre isostatique parfait n'est possible que lorsque le matériau du manteau est au repos. Cependant, la convection thermique est présente dans le manteau.

Le meilleur exemple actuel est donné par la Scandinavie, qui a été recouverte par une épaisse calotte glaciaire lors de la dernière glaciation. Elle s'était alors "enfouie" dans le manteau sous la charge de la glace. La calotte ayant fondu très rapidement il y a 10.000 ans la péninsule scandinave "remonte" depuis à une vitesse actuelle de 1cm par an (1 m par siècle!). L'anomalie gravitaire négative actuelle montre que le réajustement n'est pas terminé et qu'il reste encore 200m de hauteur à parcourir avant que l'équilibre soit rétabli.



## Isostasie Scandinavie

### 1.2 Dérive des continents et tectonique des plaques

La théorie de la **tectonique des plaques** est basée sur la théorie de la **dérive des continents** de (**Wegener,1912**) . Dans cette nouvelle théorie, ce sont les **plaques tectoniques**, plutôt que les **continents**, qui se déplacent. Les **plaques tectoniques** sont des morceaux de lithosphère et de croûte qui flottent sur l'asthénosphère.

#### ➤ Dérive des continents

L'ensemble des déplacements horizontaux des continents (ou des blocs continentaux) les uns par rapport aux autres.

Ce sont des forces tectoniques induites par les mouvements convectifs lents du manteau et les déplacements consécutifs de l'écorce terrestre (déplacements des plaques rigides par le jeu des accidents tectoniques). Le déplacement des plaques rigides par le jeu de la tectonique qui favorise la circulation de la chaleur avec le déplacement de matière.

L'énergie thermique est transformée en énergie mécanique par des courants de convection, ils existent deux indicateurs permettant de mesurer la déperdition d'énergie en surface :

\* Le flux géothermique : mesure la quantité de la chaleur dissipée à travers les roches, le fait que la température avec la profondeur démontre qu'il existe des échanges d'énergie thermique entre le centre et la surface de terre (zone volcanique).

\* Le gradient thermique : mesure l'augmentation de température en fonction de la profondeur avec le tremblement de la terre ou déplacement longitudinale et verticale des blocs terrestres.

Il existe deux catégories d'ondes sismiques :

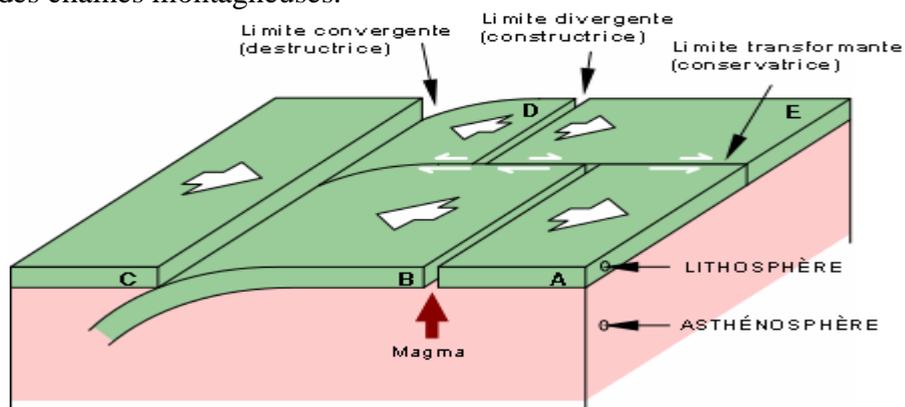
Onde P : ou première puisque ce sont les plus rapides, se sont les ondes de compression ou déplacement des particules est parallèles (longitudinal) à la direction de propagation de l'onde dans les régions profondes.

Onde S : ou secondaire ce sont des ondes verticales ou le déplacement des particules est transversal à la direction de propagation de l'onde à la surface.

### ➤ Tectoniques des plaques

Ce sont les forces tectoniques induites par les mouvements convectifs lents du manteau, et les déplacements consécutifs de l'écorce terrestre. Il s'agit essentiellement d'une thermodynamique reliée à la déperdition de la chaleur causée par la désintégration radioactive de certains éléments.

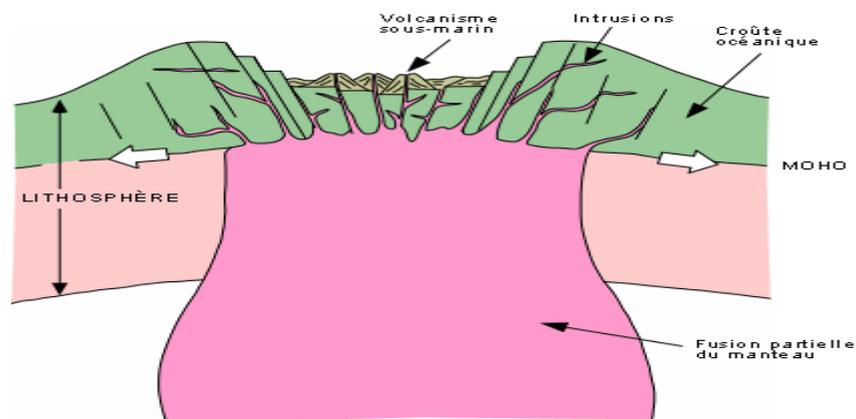
**Les plaques tectoniques** Est un modèle dynamique globale de la lithosphère terrestre. La lithosphère, zone rigide externe de la terre, constituée de la croûte et d'une partie du manteau supérieur, est subdivisée en plaques dites tectoniques ou lithosphériques océanique et/ou continentale. Les mouvements lents de la terre donnent des changements dans les différents types des roches, ce mouvement de ces plaques est possibilité du fait que la lithosphère, rigide, flotte sur l'asthénosphère ou partie ductile du manteau supérieur. Les grands phénomènes géologiques comme tremblements de terre (séisme), les volcans les fosses océanique et la formation des chaines montagneuses.



### Les types des frontières :

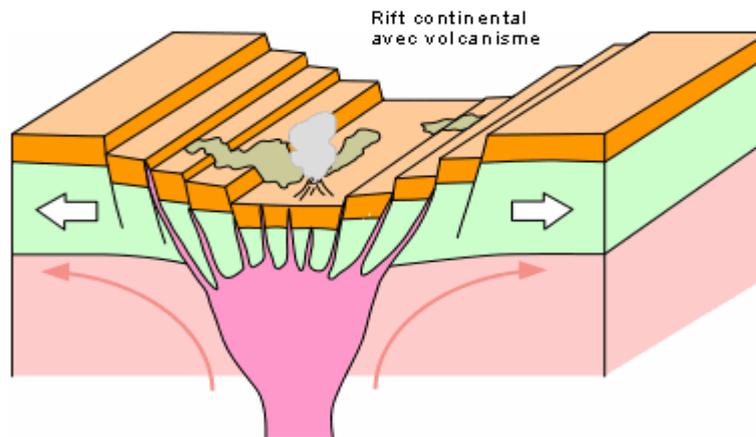
Les mouvements définissent les trois types des frontières entre les plaques :

1) Les frontières divergences (contrainte de tension), la ou les plaques s'éloignent l'une de l'autre ou il y a production de nouvelles croûte océanique.

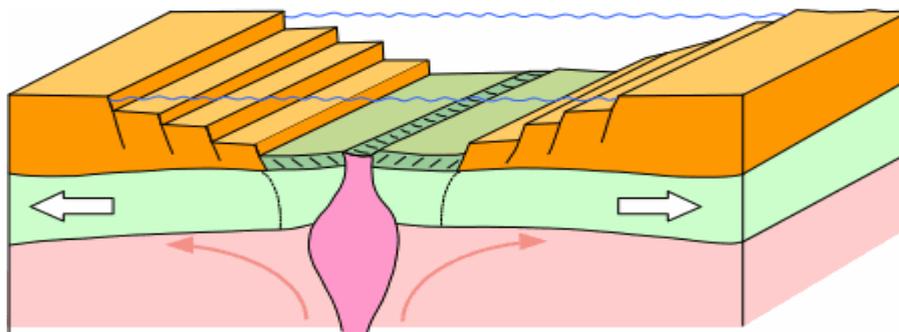


L'accumulation de chaleur sous une plaque continentale cause une dilatation de la matière qui conduit à un bombement de la lithosphère. Il s'ensuit des forces de tension qui fracturent la lithosphère et amorcent le mouvement de divergence conduit par l'action combinée de la convection mantellique et la gravité. Le magma viendra s'infiltrer dans les fissures, ce qui causera par endroits du volcanisme continental. La poursuite des tensions produit un étirement de la lithosphère; il y aura alors effondrement en escalier, ce qui produit une vallée appelée un rift continental. Il y aura des volcans et des épanchements de laves le long des fractures. Avec la poursuite de l'étirement, le rift s'enfonce sous le niveau de la mer et les eaux marines envahissent la vallée. Deux morceaux de lithosphère continentale se séparent et s'éloignent progressivement l'un de l'autre. Le volcanisme sous-marin forme un premier plancher océanique basaltique (croûte océanique) de part et d'autre d'une dorsale embryonnaire.

#### Rift continental.

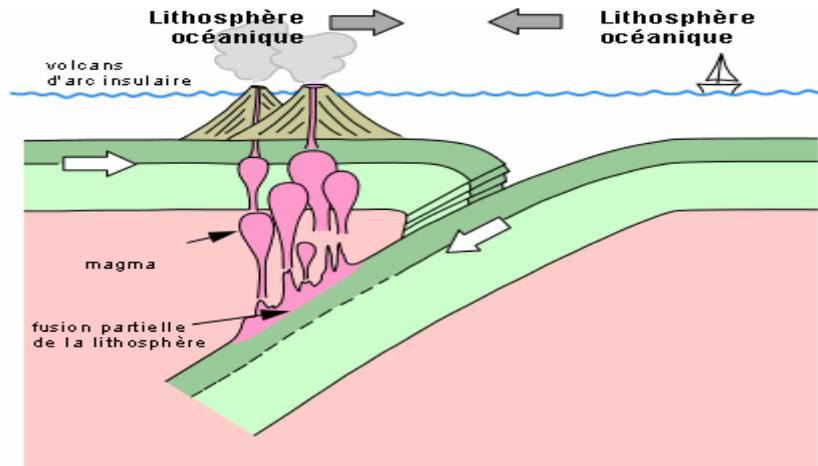


#### Premier plancher océanique - Mer linéaire.

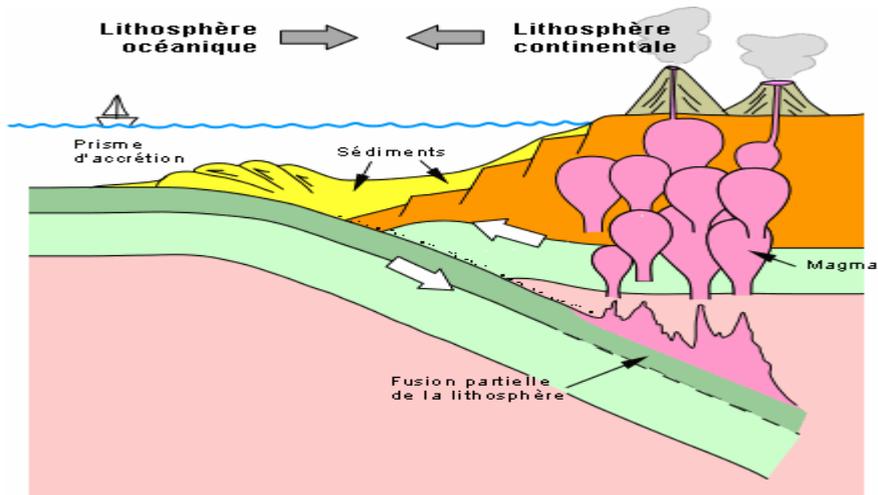


2) Les frontières convergentes (compression), mouvement de rapprochement de deux plaques lithosphériques l'une peut plonger sous l'autre (subduction) ou elles peuvent entrer en collision et créés ainsi une chaîne de montagne.

La zone de convergence est caractérisée par une forte sismicité et des reliefs élevés. Un **premier type de collision** résulte de la convergence entre deux plaques océaniques. Dans ce genre de collision, une des deux plaques (la plus dense, généralement la plus vieille) s'enfonce sous l'autre pour former une zone de subduction.

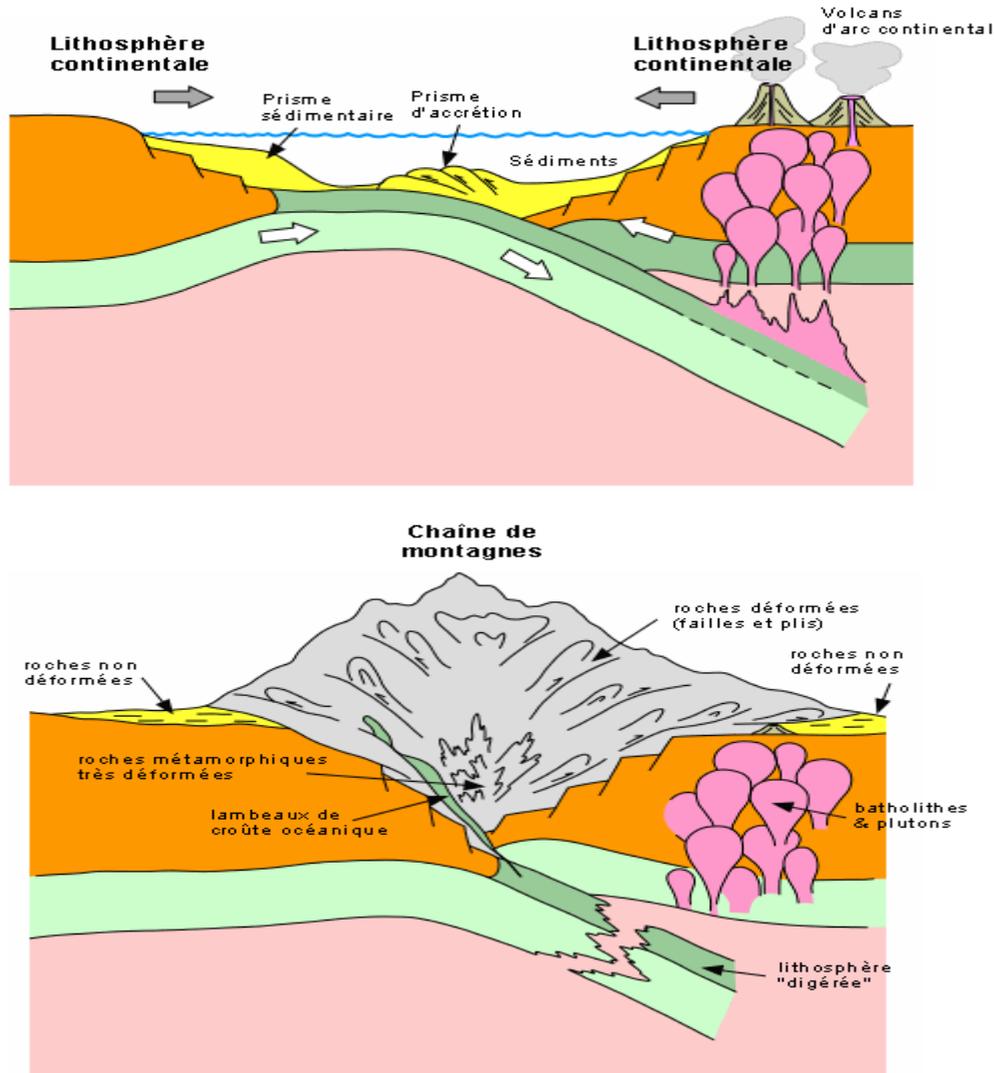


Un **second type de collision** est le résultat de la convergence entre une plaque océanique et une plaque continentale. Dans ce type de collision, la plaque océanique plus dense s'enfonce sous la plaque continentale.



Un **troisième type de collision** implique la convergence de deux plaques continentales. L'espace océanique se referme au fur et à mesure du rapprochement de deux plaques continentales, le matériel sédimentaire du plancher océanique, plus abondant près des continents, et celui du prisme d'accrétion se concentrent de plus en plus; le prisme croît. Lorsque les deux plaques entrent en collision, le mécanisme se coince: le moteur du déplacement (la convection dans le manteau supérieur et la gravité) n'est pas assez fort pour enfoncez une des deux plaques dans l'asthénosphère à cause de la trop faible densité de la lithosphère continentale par rapport à celle de l'asthénosphère.

Tout le matériel sédimentaire est comprimé et se soulève pour former une chaîne de montagnes où les roches sont plissées et faillées.



3) Les frontières transformantes (plissements), lorsque deux plaques glissent latéralement l'une contre l'autre, le long des failles, correspondent à de grandes fractures qui affectent toute l'épaisseur de la lithosphère; on utilise plus souvent le terme de failles transformantes. Elles se trouvent le plus souvent, mais pas exclusivement, dans la lithosphère océanique.

### 1.3 Formations des reliefs :

Le relief est un assemblage de portions de surface topographique plus ou moins étendues appelés versant (surface plane ou ondulée plus ou moins vaste joignant un interfluve à un talweg variable pente) si le système des pentes.

**Montagne** : régions élevées avec des pentes longues et raides reliant des crêtes élevées et des vallées profondes.

**Plaine** : surface horizontale limitée par deux pentes plus ou moins fortes, les rivières coulent à fleur de sol. (plate)

**Plateau** : surface plane ou l'eau encaissée les courbes de niveau s'éloignent au sommet.

**Vallées** : sillon incliné dans le même sens de l'amont vers l'aval Les **vallées** sont les creux situés entre deux montagnes.

**Vallon** : vallée courte peu profonde.

**Colline** sommet circulaire, cuvette dépression fermée, sommet point culminant élevé d'un relief, fan relief raide dominant la nappe d'eau mer ou lac.

#### 1.4 Les accidents tectoniques :

Les roches en couche horizontale sont déformées par un phénomène de diagénèse et des mouvements tectoniques (le jeu des plis et des fractures). Ces types de déformation sont :

Déformation élastique : les roches sont déformées en petits morceaux

Déformation plastique : lies à la maille cristalline des minéraux

Déformation cassante : sont les types des cassures dans les minéraux constituant la roche.

Ces matériaux se déforment d'abord élastiquement puis plastiquement jusqu'à atteindre le seuil de rupture des roches.

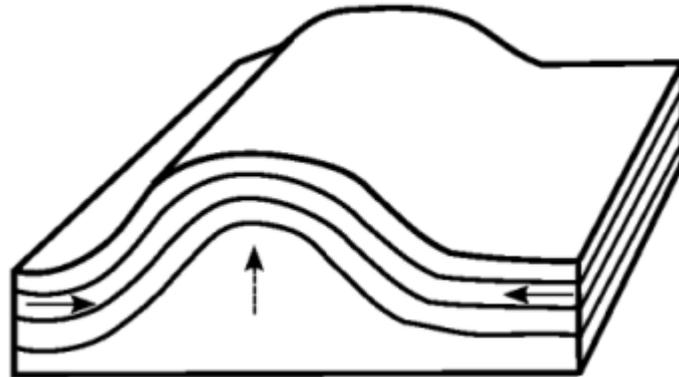
Quoi qu'il en soit de la facilité ou non de reconnaître ces formes et accidents sur le terrain, dans tous les cas il faut connaître la disposition originelle des couches, donc disposer de *critères de polarité* ; le plus simple est l'ordre stratigraphique, quand cela est possible. Mais d'autres critères sont utilisables : d'abord, d'ordre paléontologique, comme celui qui est fourni par les organismes récifaux qui se développent, en position biologique, de bas en haut; ensuite, d'ordre sédimentologique, soit dans l'épaisseur d'un banc, par exemple, le granoclassement des grès, soit à la limite des bancs, comme l'existence de figures d'origine biologique ou sédimentaire à la base des bancs de grès et que l'érosion dégage ensuite à l'affleurement ; enfin, d'ordre minitectonique ou microtectonique.

#### 1.5 Données tectoniques synclinal,anticlinal

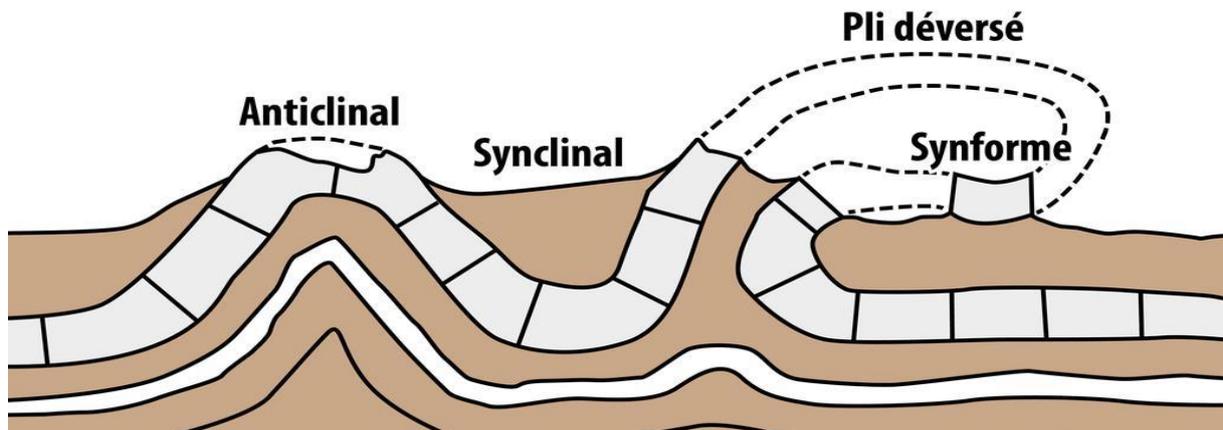
- **Un synclinal** est une structure géologique consistant en un pli concave dont le centre de la structure occupé par les couches géologiques les plus récentes.



- **Un anticlinal** est une structure géologique consistant en pli convexe vers le haut composant des matériaux les plus jeunes, dont le cœur (centre de la structure) est occupé par les couches géologiques les plus anciennes.



Il existe des anticlinaux et synclinaux à différentes échelles d'observation depuis les microplis affectant un échantillon, jusqu'aux plis régionaux. Il y a des différents types :



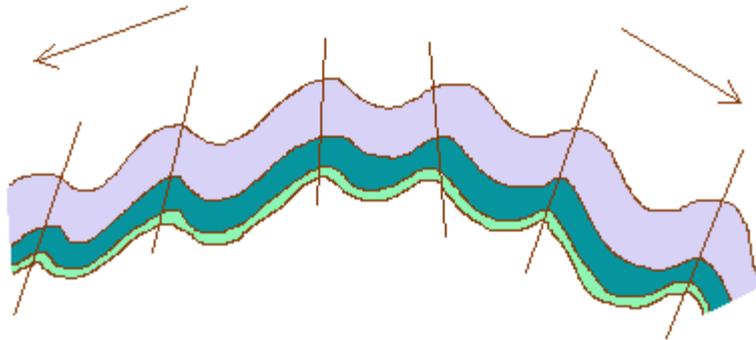
Synclinal antiforme : dans le cas d'un pli déversé, les couches les plus jeunes peuvent apparaître au cœur d'un antiforme, les strates les plus récentes sont toujours au cours de la structure.



Synclinal perché : au cours de l'érosion des zones de plis, dans le cas particuliers ou les synclinaux forment les reliefs élevés.



Synclitorium : est un grand plis, globalement en synclinal dans lequel on retrouve un enchaînement de plis synclinaux et anticlinaux plus petits. Ces petits plis parfois formés par des cassures dans la roches de types faille, sont alors en escalier sur les flancs.



### 1.6 Reliefs des structures simples : cuestas

On appelle **cuesta** un **relief** dissymétrique réalisé par une couche résistante modérément inclinée et interrompue par l'érosion.

Avec une coupe géologique ou géomorphologique, si l'objectifs :

- De comprendre les rapports entre le relief et la structure qui le porte, les structures sont :

**a/** les structures tabulaires, horizontales quand l'inclinaison des couches est faibles ou nulles ( $0^{\circ}$ - $1^{\circ}$ ) : plateaux, plaines et surface d'aplanissement.

**b/** les structures plissées ou le pendage des couches varie de façon constante : monts, dépressions.

**c/** structures faillées ou il y a une rupture entre les terrains parties soulevées et parties apaisées.

- De comprendre la succession des couches, la superposition des terrains les uns sur les autres plus ou moins de formés par les efforts de la tectonique.
- De comprendre la nature des roches, contraste de résistance mise en valeur par l'érosion sélective ou différentielle.

## 1.7 Evolution des formes jurassiennes

### Jurassique inférieur (Lias)

Le Jurassique inférieur (Lias) est difficilement visible à l'affleurement, on ne le trouve que dans les dépressions de la Haute-Saône, dans l'anticlinal des Avants-Monts ou dans la zone de chevauchement Jura-Bresse. L'épaisseur de la strate est d'environ 200 m et à peu près constante d'ouest en est. On trouve au niveau des étages une différence d'épaisseur. La roche prédominante est la marne grise avec un peu de marnes bleues, de schistes et de calcaires. La richesse en fossiles maritimes (ammonites, bivalves, gastéropodes, etc.) de ces couches indique que ces roches se sont déposées dans une mer riche en organismes. Ce sont les petites modifications du milieu marin qui ont entraîné un dépôt avec un faciès varié. Les dépôts du Lias sont également les terrains de prédilection du cépage Savagnin.

### Jurassique moyen (Dogger)

Le Jurassique moyen (Dogger) est présent sur les plateaux occidentaux de la chaîne : plateaux de la Haute-Saône, plateaux entre Doubs et Ognon, plateaux de Baume-les-Dames et de Vercel, plateaux d'Amancey et d'Ornans et plateau de Lons-le-Saunier. Quelques affleurements sont visibles dans la Petite Montagne, la zone des Avants-Monts, au sud de la Haute-Chaîne et sur le faisceau salinois. Les principales roches sont les calcaires avec de l'Oolithe, du marno-calcaire, et un peu de minerai de fer. La strate a une épaisseur de 250 m environ sur quatre étages : Callovien, Bathonien, Bajocien et Aalénien. Les roches sont très visibles sur les falaises des reculées des plateaux externes du Jura.

### Jurassique supérieur (Malm)

Le Jurassique supérieur (Malm) est prédominant dans le massif, l'épaisseur de sa couche est de plus de 500 m. On le trouve dans les plis de la Haute-Chaîne, dans la Petite Montagne, sur les plateaux internes du Jura, les faisceaux internes, dans les plateaux de la Haute-Saône et les plateaux entre Doubs et Ognon. Ces roches sont visibles dans les cluses et toute la série est visible dans le Cirque des Foules à Saint-Claude. Les roches sont presque entièrement du calcaire parfois dolomitique, parfois marneux, parfois compact. Au Purbeckien, de petits amas de lignite se sont formés dans le Haut-Doubs et la Bresse

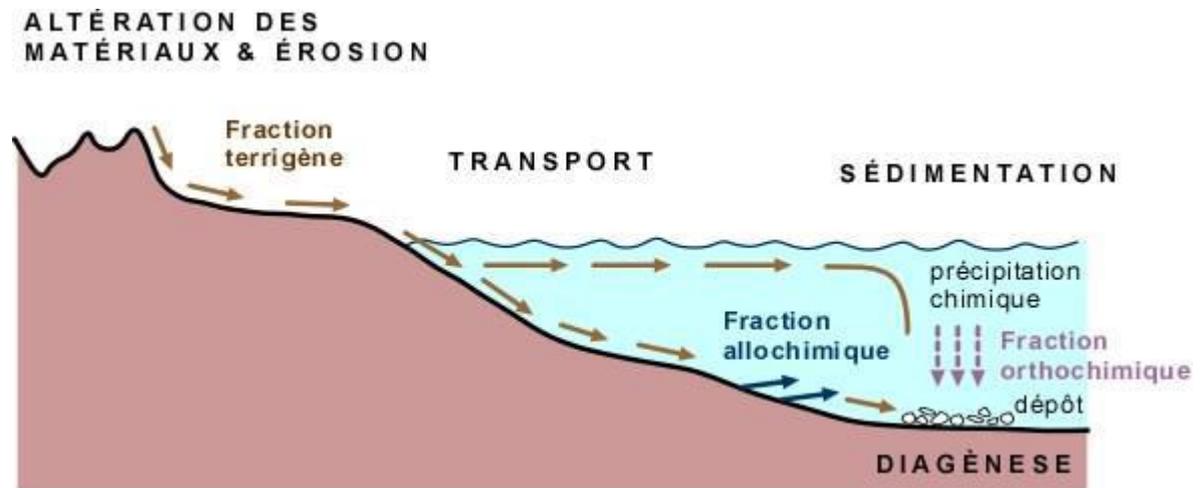
### Empreintes de dinosaures

Plusieurs pistes d'empreintes de dinosaures ont été découvertes dans le Jurassique supérieur du Jura. La plupart des pistes ont été identifiées dans le nord-est de la Suisse, dans la formation de Reuchenette (Kimméridgien) qui correspond à un environnement d'estran soumis à des émergences ponctuelles durant lesquelles les dinosaures ont laissé leurs empreintes.

## 1.8 Reliefs des structures complexes

Dans une structure monoclinale, c'est-à-dire dans toute région du globe où des dépôts sédimentaires ont constitué des couches superposées en strates, ou inclinées plus ou moins fortement dans le même sens du relief dont la pente et en sens inverse du pendage des couches.

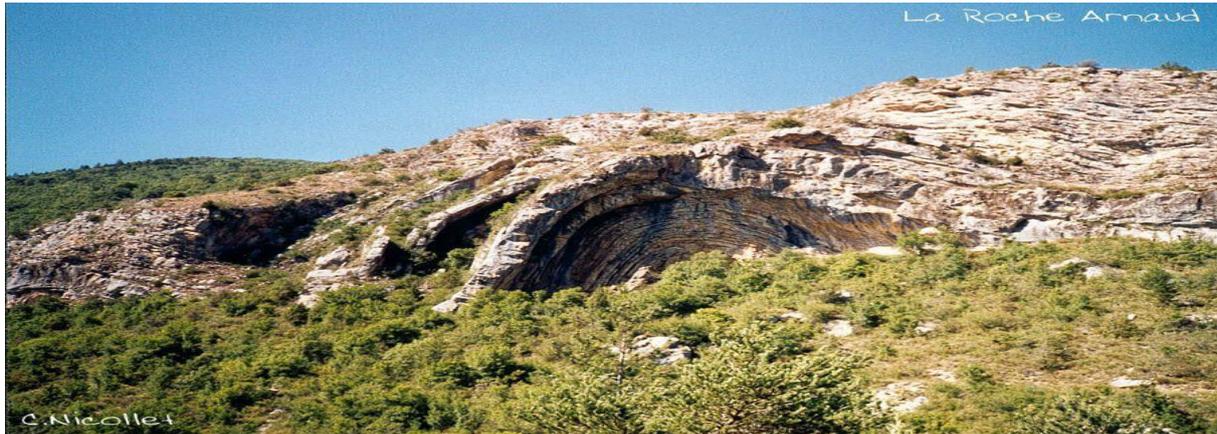
1/ **Bassins sédimentaires** est une unité géomorphologique en forme de cuvette plus ou moins régulière caractérisée par une combinaison de formes structurales spécifiques de témoins de surface d'aplanissement et de forme d'accumulation avec la disposition des traces hydrographique.



2/ **Chaines montagnes** sont le plus souvent formées des couches sédimentaires fortement plissées en anticlinaux et au synclinaux, les plis peuvent être droits, déversés, couchés et même transformés en nappe de charriage. Les plissements sont provoqués par des compressions latérales des sédiments déposés dans des fosses marines appelées géosynclinaux.

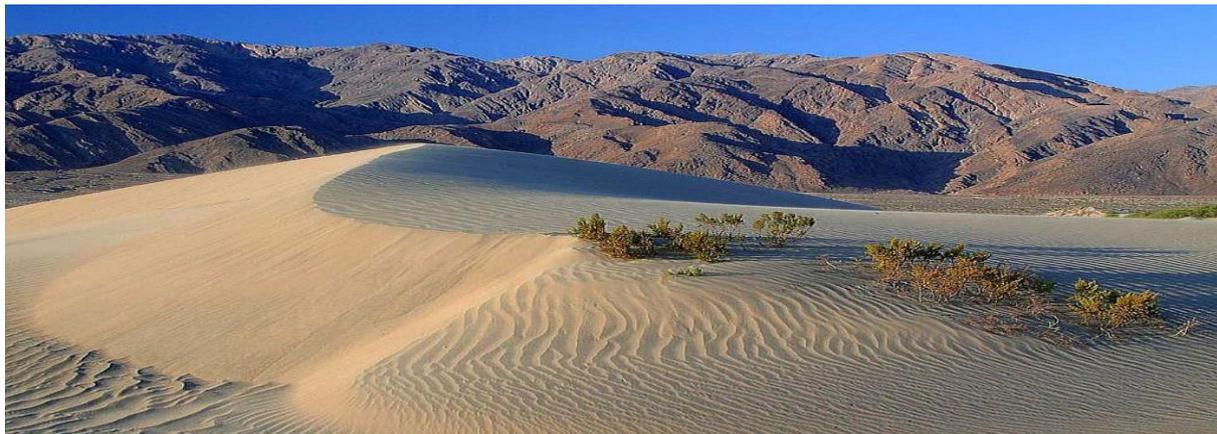


3/ **Structures plissées** sont l'ensemble des couches présentant des pendages variables dirigés dans le sens divers.



4/ **Bouclier** vaste unité géomorphologique présentant une topographie de plaine et de plateau, un bouclier se caractérise par des formes structurale développées dans les socles ou liées à l'existence de témoins des couvertures sédimentaires ces boucliers constituent la majeure partie de la surface des continents.

5/ **Désert** le relief des régions désertiques se signale par la netteté des formes structurales celle-ci résulte du simple aménagement, en milieu aride d'un ensemble géomorphologiques hérite d'époque bioclimatique.



6/ **Montagne** désigner de hautes surfaces massives, ou des hauts plateaux, dont le modèle est constitué par une alternance de faible pointements rocheux arrondi caractérisée par un relief élevé à forte dénivellation.

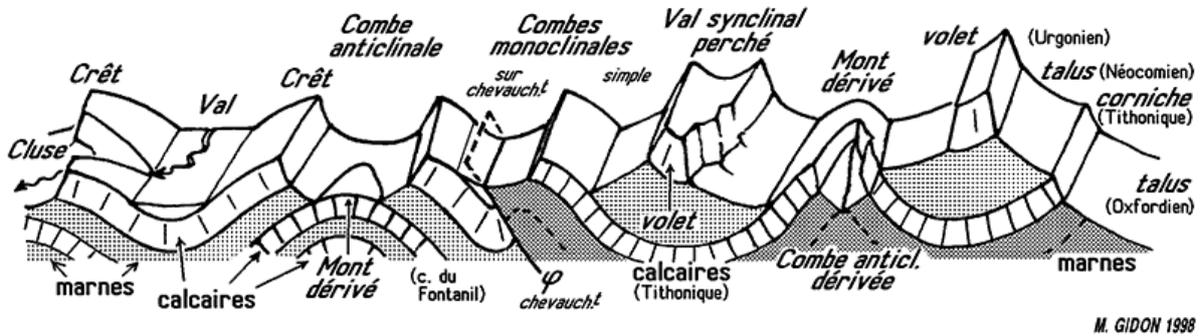
7/ **Glaciaire** extension des glaces à la surface terrestre se forme par les changements climatiques.



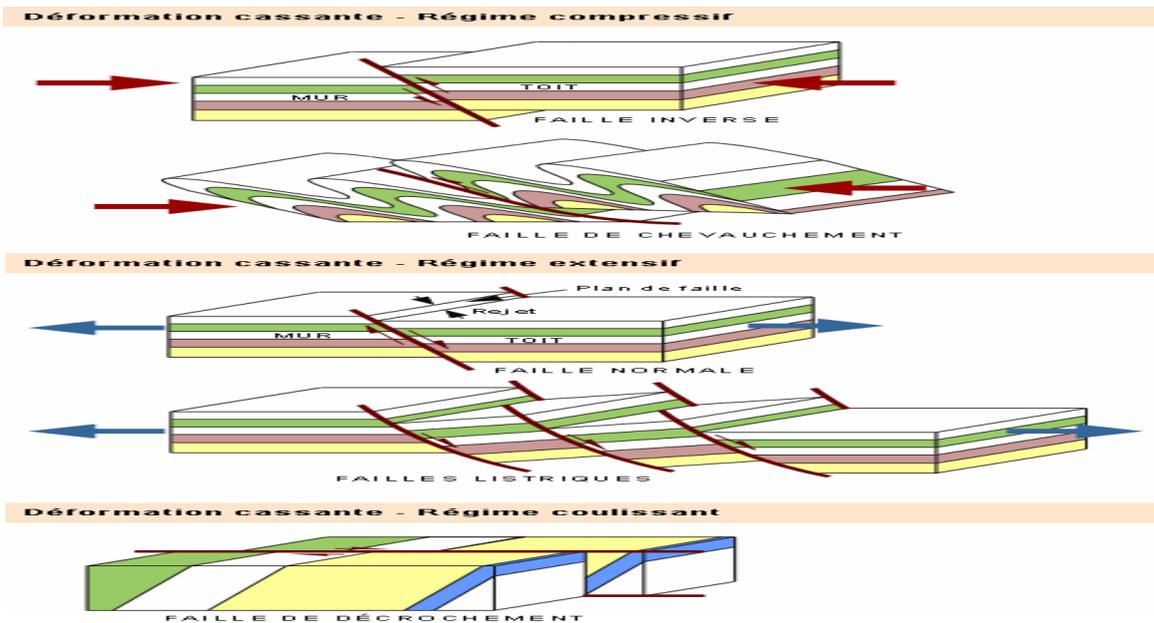
8/ **Karst** désigner des régions caractérisées par des formes de relief développées dans d'épaisses masses de calcaire massif anciens, est une unité géomorphologique généralement de dimension moyenne (quelques milliers à quelques dizaines de milliers de km<sup>2</sup>) associant les vestiges souvent importants de surfaces d'aplanissement à une gamme plus ou moins riche des formes structurales.



9/ **Relief** résiduel simple avec des pointements rocheux ou variable se sont des massifs montagneux de plusieurs centaines de mètres dominant une surface d'érosion et marquant souvent l'extension d'une ancienne topographie et la présence sur une ligne partage des eaux restée très longtemps stable.



9/ **Déformation** de faille exprime dans le relief par des formes structurales appelées escarpements des failles.



**10/ Ruiniforme** il s'agit des formes dues à l'érosion de certaines faciès hétérogènes comme les dolomies ou les grès calcaires.



**11/ Volcanisme** s'exprime dans le relief du globe par une famille des formes leur diversité résulte par des éruptions aux modalités variées.

