

UNIVERSITÉ DE TLEMCEN
FACULTÉ DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE ET SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS
SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE
BIOLOGIE



COURS DE GEOLOGIE

Somia YOUSFI

Cours destiné aux étudiants de
Tronc commun, Licence 1, SNV

2019

Cours de Géologie

Somia YOUSFI

Publié à Tlemcen, Algérie



Cours de Géologie

Somia Yousfi

© Somia YOUSFI, Université de Tlemcen, 2019

Résumé

Ce cours vise en premier lieu à déterminer les objectifs de la géologie et la placer dans les sciences naturelles. Aussi, il donnera aux étudiants des notions sur la structure du globe terrestre, la géodynamique externe : forces et mouvements superficielles (érosion et sédimentation) et interne : mouvements et forces d'origine interne (séismes, volcans et tectoniques des plaques).

Table des matières

Résumé.....	iv
1. Introduction.....	1
2. GEOLOGIE GENERALE	2
2.1 Le Globe terrestre	4
2.1.1 Caractéristiques générales	4
2.1.2 Caractéristiques physiques de la Terre en quelques chiffres	5
2.1.3 Caractéristiques morphologiques, vue d'ensemble	5
2.1.4 Composition chimique de la Terre.....	6
2.1.5 Hydrosphère	7
2.1.6 Atmosphère terrestre	8
2.2 Structure interne de la Terre.....	9
3. Chapitre 2 GEODYNAMIQUE EXTERNE.....	11
3.1. Erosion.....	11
3.1.1 Action de l'eau.....	12
3.1.2 Action du vent.....	13
3.2. Dépôts et sédimentation	15
3.2.1 Formation des roches sédimentaires.....	15
3.2.2 Classement des roches sédimentaires	17
3.3. Notions de la stratigraphie	19
3.4. Notions de la paléontologie.....	20
3.4.1 Définitions	20
3.4.2 Facteurs de la fossilisation	20
4. Chapitre 3 GEODYNAMIQUE INTERNE	21
4.1 Sismologie	21
4.1.1 Etude des séismes	22
4.1.2 Origine et répartition.....	27
4.1.3 Tectonique souple et cassante	27
4.2 Vulcanologie	31
4.2.1 Volcan	31
4.2.2 Roches magmatiques	33
4.2.3 Etude des magmas (Évolution chimique des magmas)	34
4.3 Tectonique des plaques.....	34
4.3.1 Zones d'accrétion ou d'expansion océanique	35
4.3.2 Zones de subductions	36
4.3.3 Frontières transformantes	43
5. Bibliographie.....	45

1. Introduction

La géologie, partie des Sciences de la Terre (l'autre partie étant la géographie), étudie la Terre et son environnement. Elle comporte plusieurs disciplines (pétrographie, cristallographie, minéralogie, stratigraphie, paléontologie, tectonique, hydrogéologie, mines et géologie des hydrocarbures, sismologie, etc...), toutes en relation avec le Globe terrestre et son histoire. Les données de la géologie servent, d'une autre manière, à la compréhension et au développement des autres sciences telle que la biologie, la botanique, la climatologie, la physique, les mathématiques, la chimie... ainsi que pour expliquer les phénomènes naturels (sciences de la nature !) (fig. 1).

Les objectifs majeurs de la géologie sont (fig. 2) :

- l'accès aux Ressources : eau, énergie, matériaux ;
- la protection des Sols : nourriture, environnement ;
- la gestion des Risques : prédiction des risques naturels et aménagement des espaces habités et/ou exploités ;
- l'évolution naturelle et le dérèglement du Climat ;

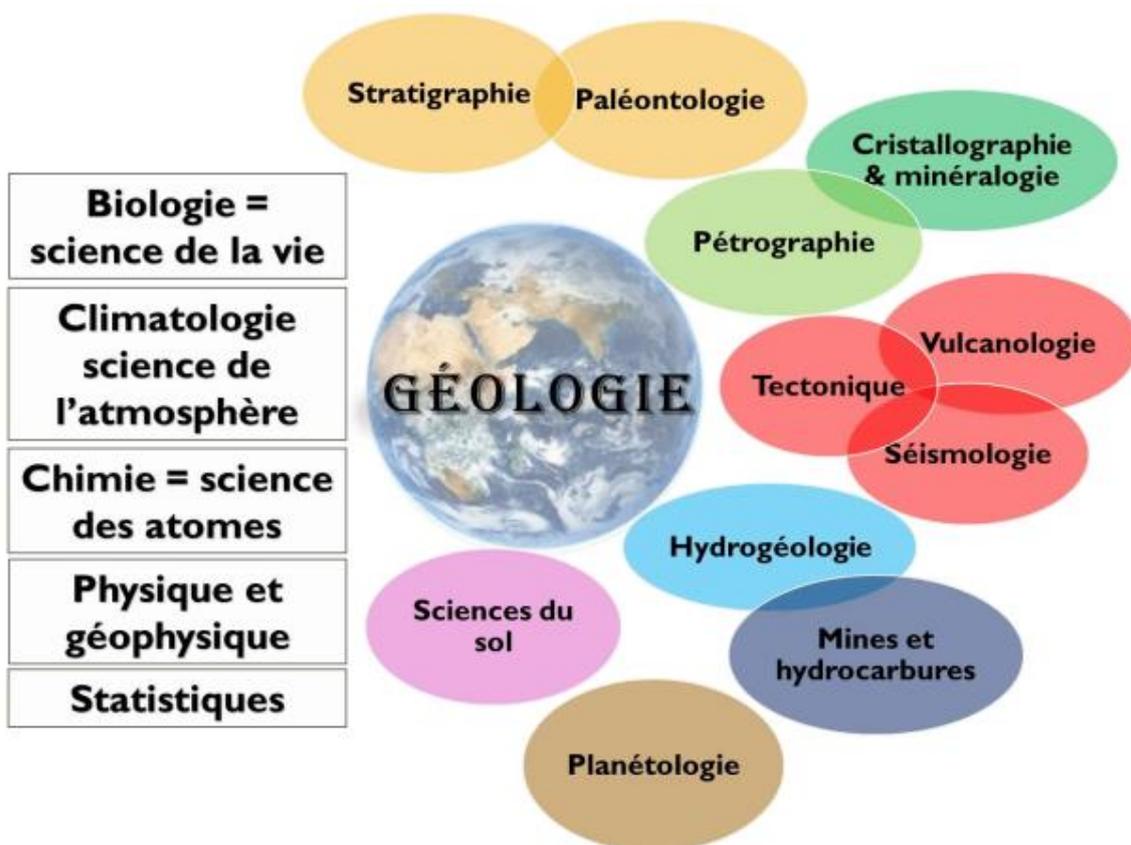


Figure 1. La Géologie dans les sciences.

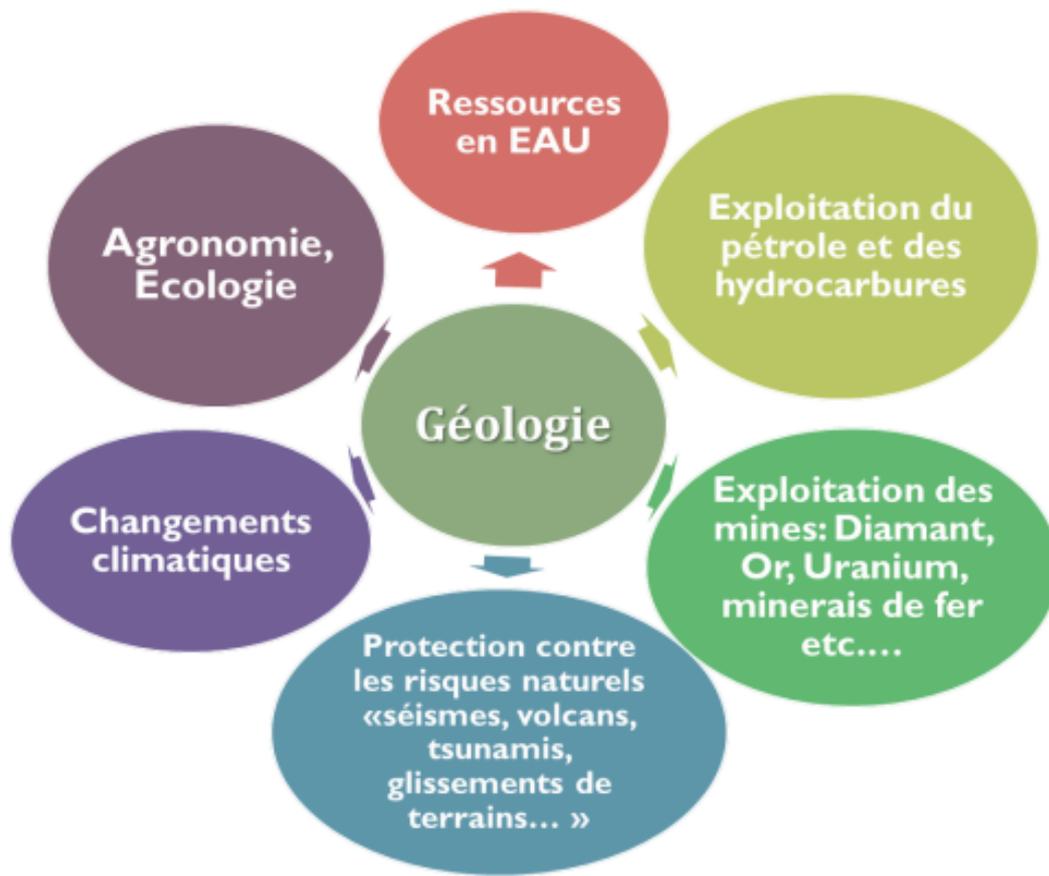


Figure 2. Objectifs de la Géologie.

2. GEOLOGIE GENERALE

Il est évident de placer la Terre dans son contexte universel :

- Elle appartient au Système solaire
- Ce système solaire appartient à une galaxie (la Voie Lactée)
- La Voie Lactée est l'une parmi plusieurs milliards de galaxies dans l'Univers

Les caractéristiques physico-chimiques de la Terre sont-elles différentes de celles des autres planètes du système solaire ? Sont-elles responsables de l'émergence de la vie sur notre planète ?

En outre, présentation d'un aperçu physique et chimique de notre planète, Le système solaire ou système planétaire désigne un système composé d'une ou plusieurs étoiles, c'est-à-dire un astre de même nature que notre Soleil, entouré d'une ou plusieurs planètes.

Le Système solaire est constitué (fig. 3) :

- du Soleil,
- de huit planètes et de leurs satellites dont la Terre et la Lune,

- des planètes naines dont Pluton,
- des astéroïdes et des comètes

Il est resté le seul connu jusqu'à la fin du XX^{iem} siècle, c'est pourquoi le terme Système solaire suffit à le désigner.

On connaît autour du Soleil huit planètes principales, qui par ordre de distance sont : Mercure, Vénus, la Terre, Mars, Jupiter, Saturne, Uranus, Neptune, et trois planètes naines : Cérés (dans la ceinture d'astéroïde entre Mars et Jupiter), Pluton et Eris qui fait partie de la Ceinture de Kuiper, au-delà de l'orbite de Neptune.

La Voie lactée (fig. 4) est une grande galaxie spirale barrée d'environ 100 000 années lumières de diamètre. Elle contient environ 100 milliards d'étoiles et a une masse totale d'environ 750 à 1000 milliards de masses solaires.

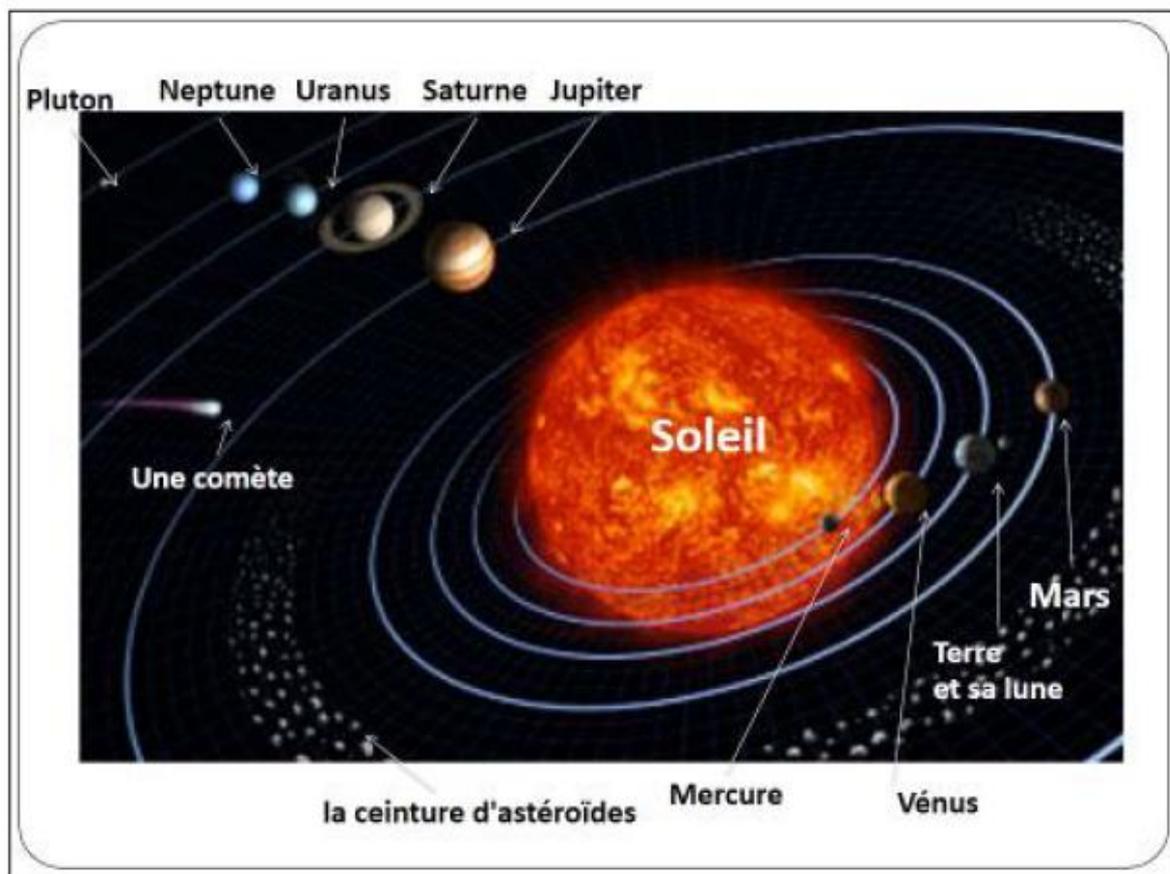


Figure 3. Composition du Système solaire (Maurice S., 2010)

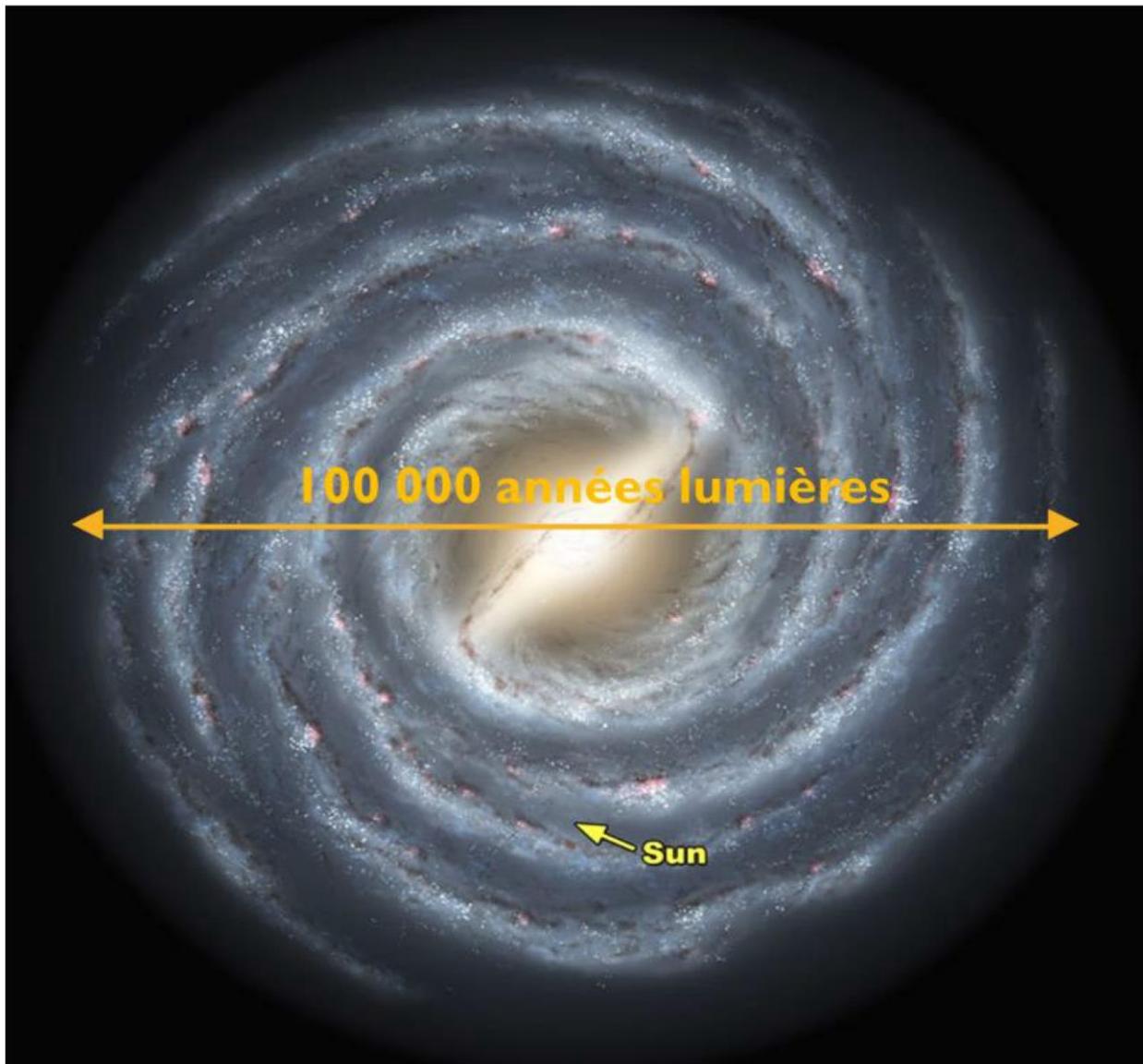


Figure 4. Notre galaxie « la Voie lactée » (NASA) (source : voaafrique.com).

2.1 Le Globe terrestre

2.1.1 Caractéristiques générales

La Terre est la 3^{ème} planète plus proche du Soleil et la 5^{ème} plus grosse. La Terre a commencé à se former il y a 4,567 milliards d'années, momentanément avec le système solaire. La Terre est la seule planète sur laquelle on trouve des formes de vie, et de ce fait il s'agit d'un caractère spécifique et unique connu. La Terre et son satellite naturel, la Lune, se déplacent sur une orbite elliptique autour du Soleil. La distance moyenne de la Terre au Soleil est d'environ 149,6 millions de kilomètre, ce qui est égale à une Unité Astronomique (UA). Son noyau de nickel et de fer en fusion donne lieu à un vaste champ magnétique qui, avec l'atmosphère, nous protège de presque toutes les radiations nuisibles venant du Soleil et des autres étoiles.

2.1.2 Caractéristiques physiques de la Terre en quelques chiffres

En résumant les caractéristiques physiques de la Terre dans les points suivants : (source : univers-astronomie.fr)

- Circonférence à l'Equateur : 40 075 kilomètres
- Diamètre Équatorial : 12 756 kilomètres
- Diamètre Polaire : 12 714 kilomètres
- Surface : 510 067 000 km²
- Volume : 1,083321 10 12 km³
- Masse : 5,9736.10 24 kilogrammes
- Densité : 5.517 (l'eau = 1)
- Intensité de la Pesanteur à l'Equateur : 9,78 m/s²
- Intensité de la Pesanteur aux Pôles : 9,83 m/s²
- Rotation Equatoriale : 23,93 heures (23 h 56 min 4,1 s = 1 jour)
- Vitesse de Rotation à l'Equateur : 1670 km/h
- Vitesse de Rotation à 45° de Latitude Nord : 1073 km/h
- Distance minimum (périhélie) : 147 103 311 km
- Distance maximum (aphélie) : 152 105 142 km
- Température de Surface (source : geoclimat.org) :
- Min. = - 93,2°C (le 10 août 2010 à l'Antarctique), Moy. : 15°C , Max. : +54,0°C (le 21/07/2016 à Mitribah (Koweït))
- Période Sidérale : 365,256 jours (365 j 5 h 48 min 45 s = 1 an)
- Vitesse Orbitale Moyenne : 29,79 km/s (entre 28 et 31 km/s).

2.1.3 Caractéristiques morphologiques, vue d'ensemble

La Terre, en raison de la force centrifuge due à sa rotation, n'est pas une sphère mais un ellipsoïde. En effet, notre Terre est légèrement aplatie dans la direction des axes polaires, et élargie à l'Equateur.

Aussi, son relief est irrégulier, il présente un dénivelé d'environ 20 kilomètres entre l'Everest (ou Chomo Lungma : 8848 mètres au-dessus du niveau de la mer) et la fosse du Challenger (dans les Mariannes, Océan Pacifique : - 11 034 mètres) (fig. 5).

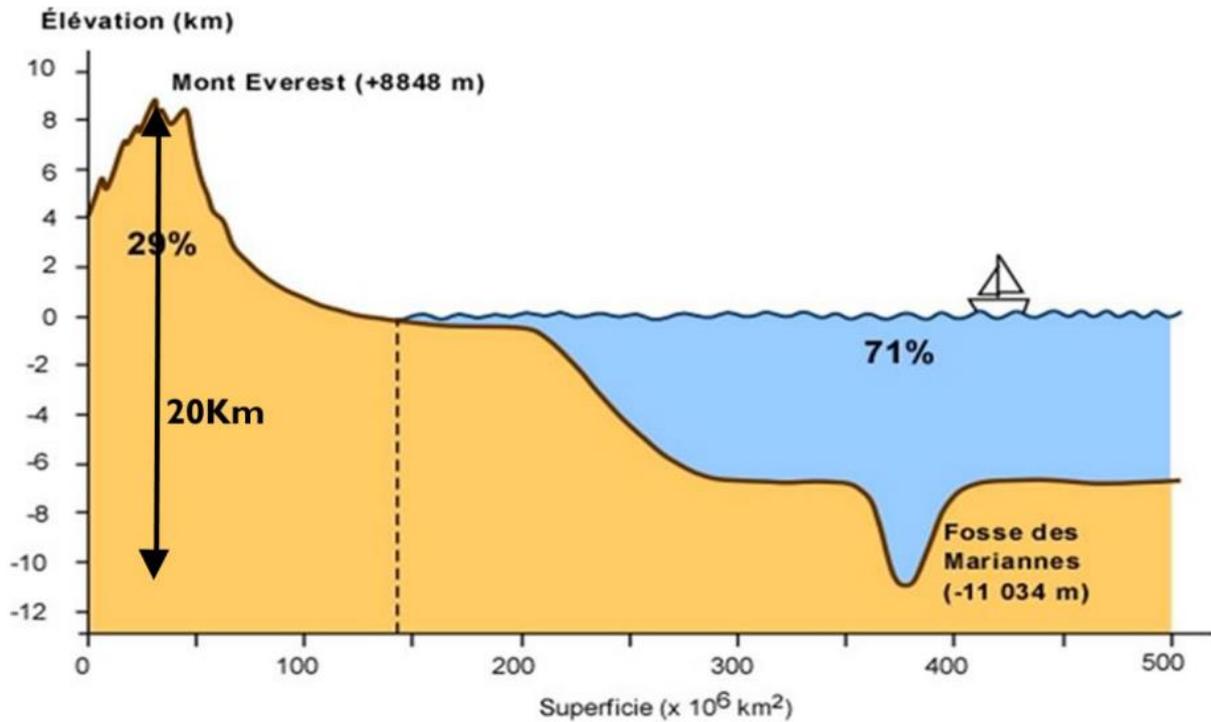


Figure 5. Coupe schématique représentant les points le plus haut et le plus profond du relief terrestre (source : ggl.ulaval.ca)

2.1.4 Composition chimique de la Terre

La Composition Chimique de la Terre en pourcentage massique de ses différents éléments (d'après Allègre et al. 1995, source : planet-terre.ens-lyon.fr) (fig. 6) :

- Oxygène (O) 32,40 %
- Fer (Fe) 28,20 %
- Silicium (Si) 17,20 %
- Magnésium (Mg) 15,90 %
- Manganèse (Mn) 0,30 %
- Chrome (Cr) 0,27 %
- Sodium (Na) 0,25 %
- Calcium (Ca) 0,16 %
- Aluminium (Al) 0,15 %
- Nickel (Ni) 0,16 %
- Titane (Ti) 0,07 %
- Potassium (K) 0,02 %

Etrangement, le total de la liste ne donne pas 100% mais 95,08%.

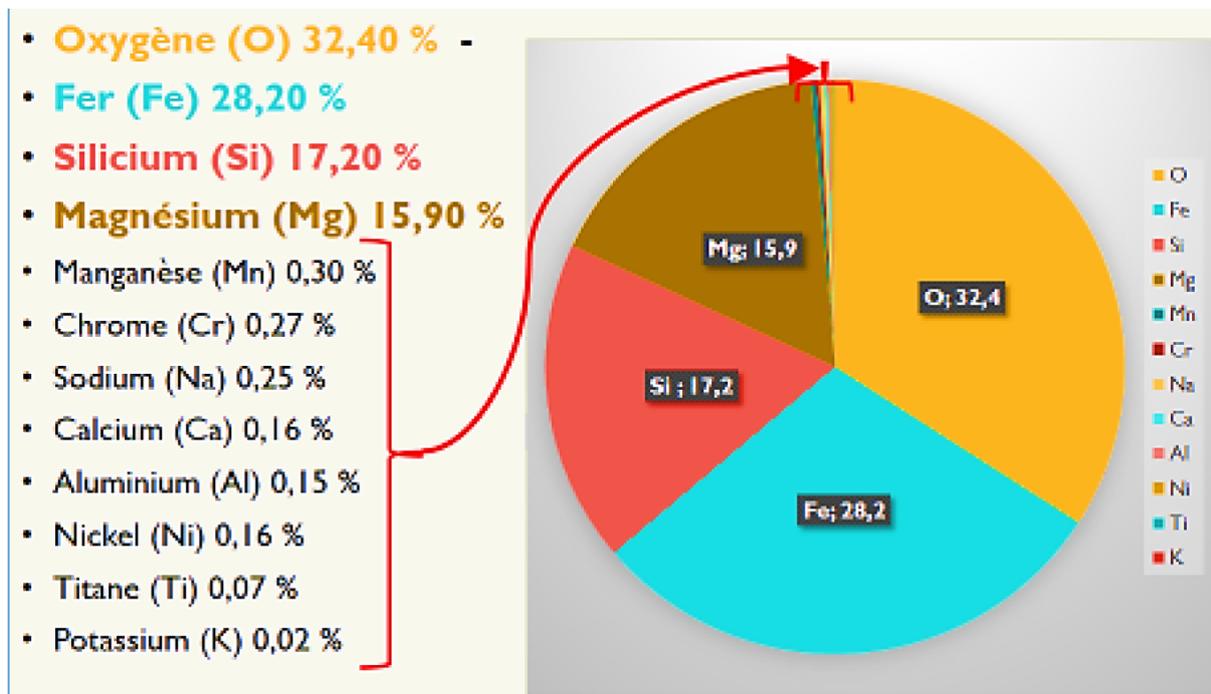


Figure 6. Présentation de la composition chimique de la Terre selon Allègre et al. (1995).

2.1.5 Hydrosphère

Toute l'eau présente sur Terre, qu'elle soit sous forme liquide, gazeuse ou solide ou qu'elle appartienne à un océan, un lac, un glacier, une nappe souterraine, aux eaux de pluies, à un cours d'eau quelconque ou encore à un nuage, forme l'Hydrosphère (fig. 7).

L'Hydrosphère occupe à la fois l'Atmosphère (pluie, nuages, eau en vapeur) et la Croûte terrestre (en surface : mers, océans, lacs, fleuves et à l'intérieur nappes phréatiques, etc...) elle est en relation directe avec la Biosphère, en ce sens elle est la partie du système terrestre dans laquelle la vie s'est développée.

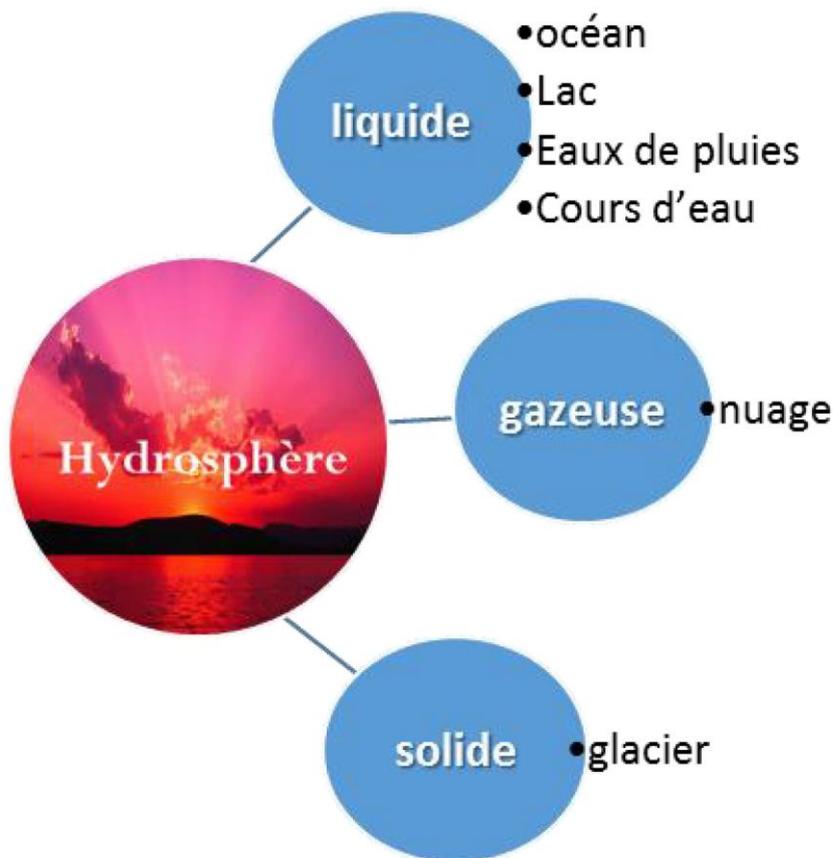


Figure 7. Différentes formes de l'eau à la surface de la Terre « Hydrosphère »

2.1.6 Atmosphère terrestre

L'atmosphère terrestre correspond à la couche de gaz et de particules qui entoure notre planète.

L'air se compose très majoritairement de diazote (78 %), de dioxygène (21 %) et d'autres gaz, dont l'argon et le dioxyde de carbone ; Ceux-ci jouent un rôle fondamental dans le maintien de la vie : absorption partielle du rayonnement ultraviolet, tampon thermique ou réchauffement de la surface de la Terre et la faible fluctuation thermique entre le jour et la nuit.

La moitié de la masse de l'atmosphère se trouve dans les 5 premiers kilomètres d'altitude. Il faut s'élever jusqu'à 20 km pour atteindre 90% de sa masse totale. La variation des paramètres physiques et chimiques en fonction de l'altitude a permis la distinction suivante des couches de l'atmosphère (fig. 8) (Pomerol Ch. et al, 2013) :

- La Troposphère est la couche atmosphérique la plus proche du sol terrestre. Son épaisseur est variable : 9 Km de hauteur au-dessus des pôles, 12 Km au-dessus de l'équateur. C'est dans cette couche qu'on retrouve la plus grande partie des phénomènes météorologiques
- La Stratosphère est au-dessus de la Troposphère. C'est dans la Stratosphère qu'on trouve la couche d'ozone (O_3) (entre 15 et 30 km). Cette dernière est essentielle à la vie sur Terre, car elle absorbe la majorité des rayons solaires ultraviolets qui sont extrêmement nocifs pour tout être vivant.
- La Mésosphère est au-dessus de la Stratosphère. Les poussières et particules qui proviennent de l'espace (les météores) s'enflamment lorsqu'elles entrent dans la

Mésosphère à cause de la friction de l'air. Ce phénomène nous apparaît sous la forme d'« étoiles filantes ».

- La Thermosphère est la couche la plus haute. Dans cette couche, la température augmente avec l'altitude et peut atteindre jusqu'à 580°C à 200 kilomètres d'altitude et 750°C à 750 km. La partie inférieure de la Thermosphère est appelée l'ionosphère.
- La Magnétosphère est la zone où s'exprime le magnétisme terrestre. Sa limite externe, la magnétopause, vers 50000 km marque la fin de l'atmosphère.

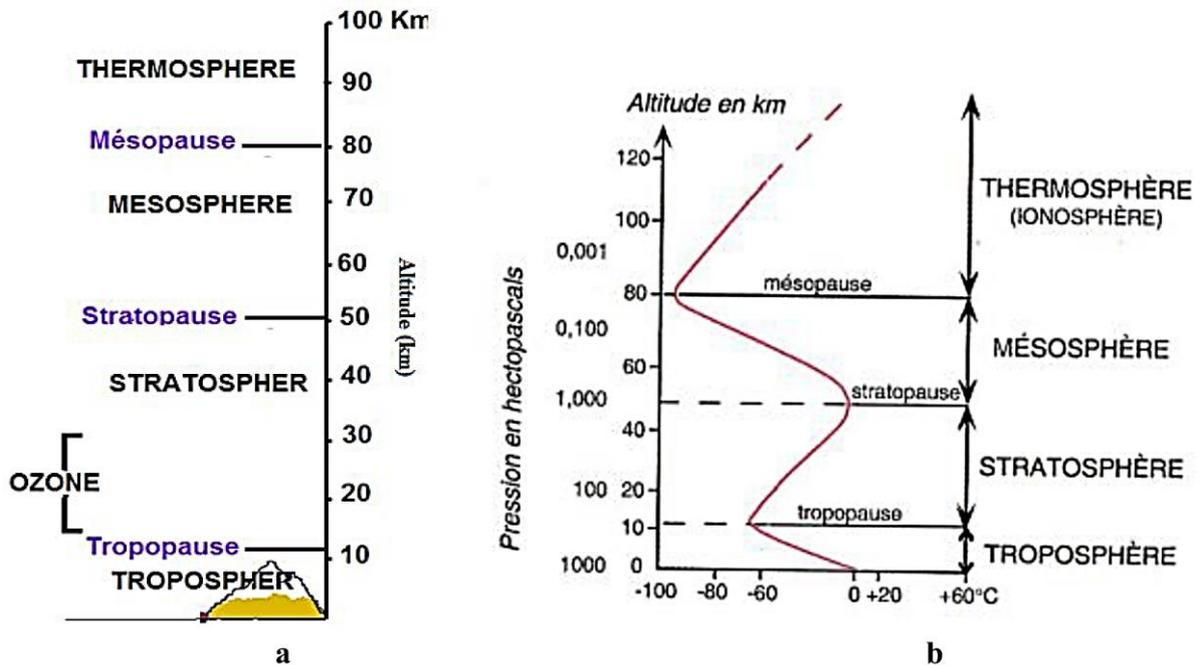


Figure 8. a : couches de l'Atmosphère avec la position de la couche d'Ozone ; b : variation de la température et la pression en fonction de l'altitude (Pomerol Ch. et al, 2013)

2.2 Structure interne de la Terre

L'intérieur de la Terre est constitué d'une succession de couches de propriétés physiques différentes, On distingue trois couches principales :

- le noyau
- le manteau
- la croûte terrestre

Cette représentation est très simplifiée puisque ces enveloppes peuvent être elles-mêmes décomposées (fig. 9 et 10).

Ces couches ont des propriétés physiques différentes :

- au centre, le noyau, qui forme 17% du volume terrestre et qui se divise en noyau interne solide et noyau externe liquide ;
- puis, le manteau, qui constitue le gros du volume terrestre, 81%, et qui se divise en manteau inférieur solide et manteau supérieur principalement plastique, mais dont la partie tout à fait supérieure est solide ;

- finalement, la croûte (ou écorce), qui compte pour moins de 2% en volume et qui est
- solide.

Trois discontinuités séparent croûte, manteau et noyau externe et interne :

- La discontinuité de Mohorovicic (MOHO) qui marque un contraste de densité entre la croûte terrestre et le manteau,
- La discontinuité de Gutenberg qui marque aussi un contraste important de densité, entre le manteau et le noyau.
- La discontinuité de Lehmann sépare le noyau interne et noyau externe.

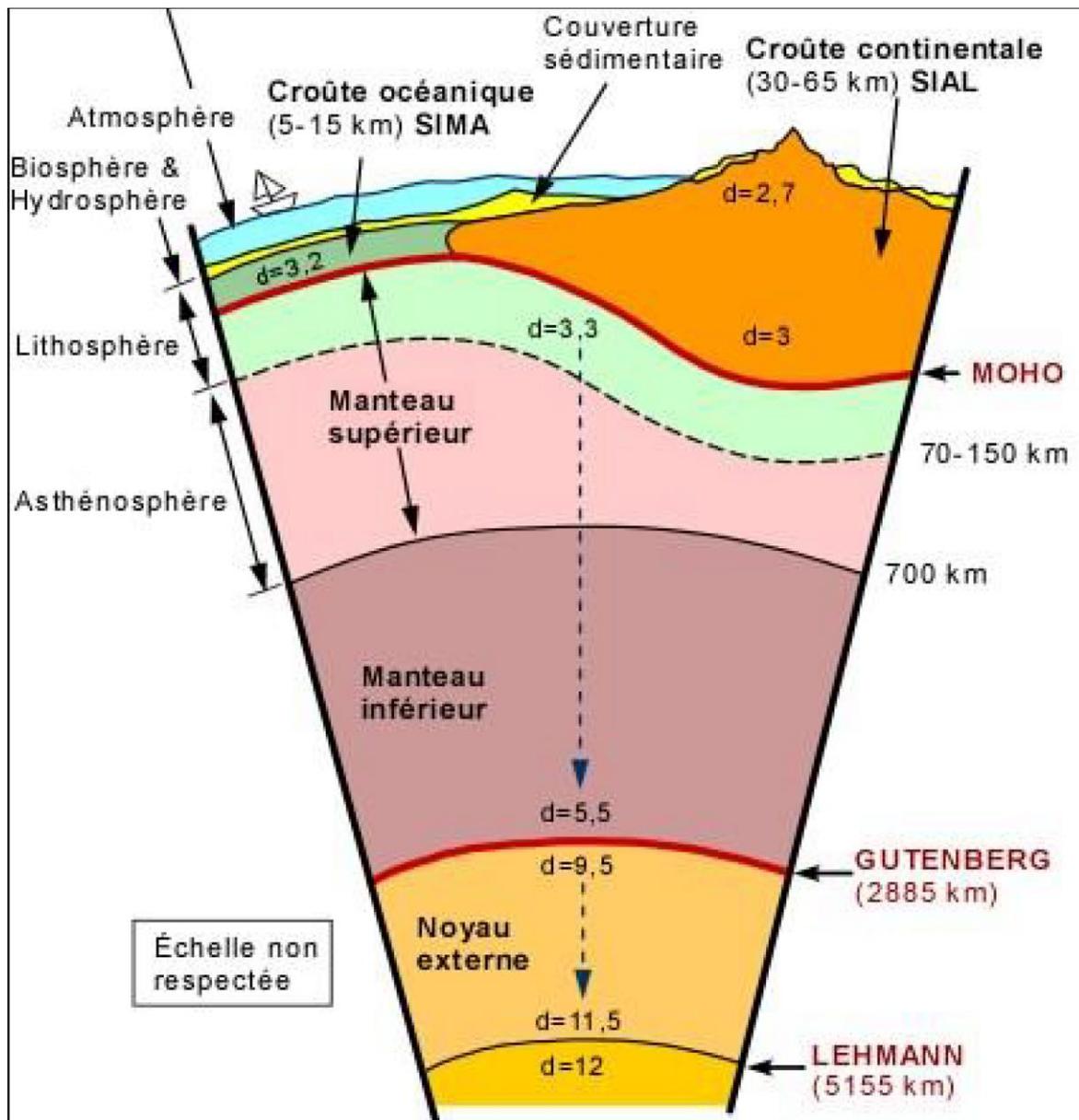


Figure 9. Structure interne de la Terre (Bourque P. A., 2010).

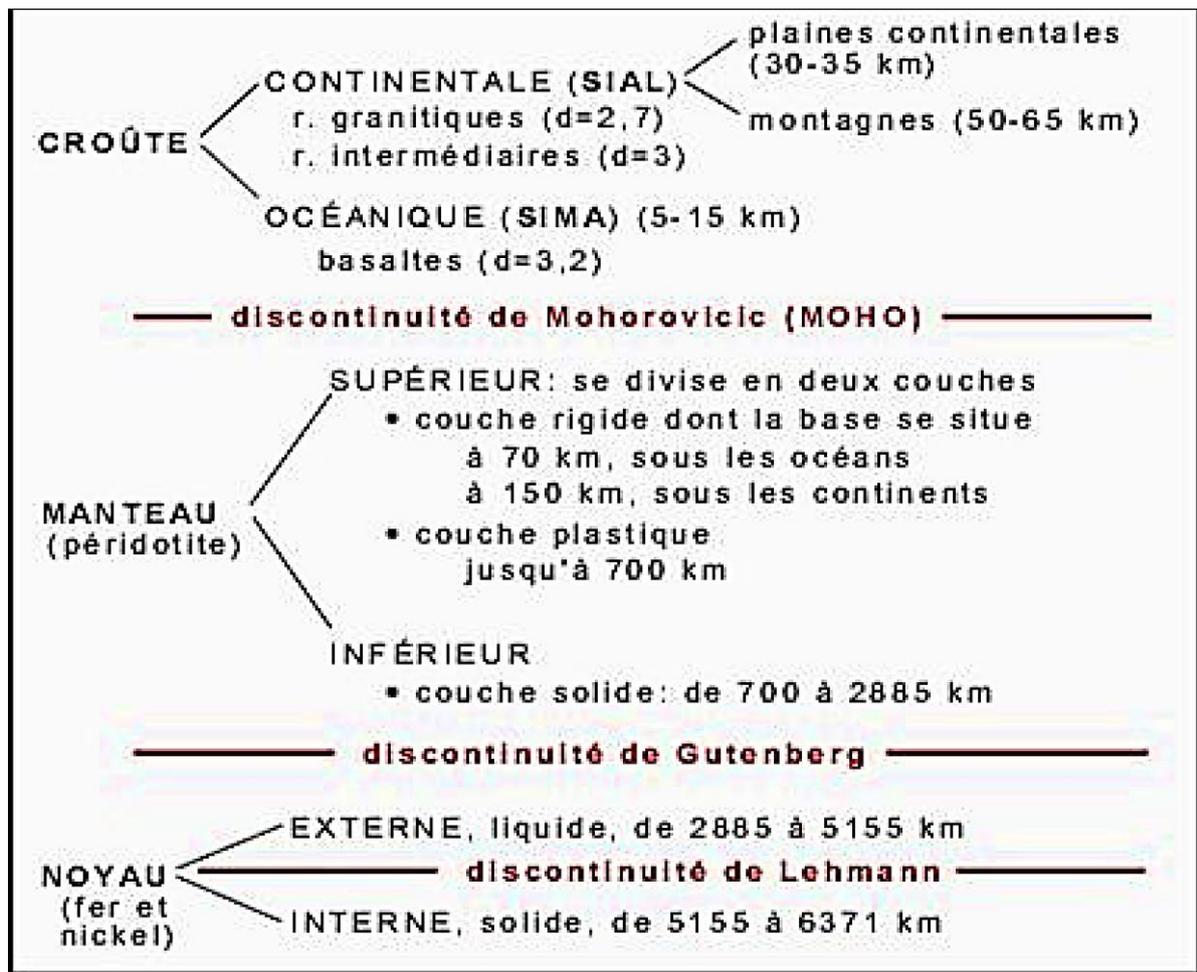


Figure 10. Caractéristiques physiques et chimiques des couches internes de la Terre (Bourque P. A., 2010).

3. Chapitre 2 GEODYNAMIQUE EXTERNE

La dynamique externe de la Terre, ou la géodynamique externe, concerne l'évolution dynamique de la surface de la Planète. L'érosion est un des plus importants agents qui dessinent la surface de notre planète.

3.1. Erosion

L'érosion est l'ensemble des phénomènes et des processus externes qui modifient le relief terrestre, en enlevant tout ou une partie des terrains existants à la surface ou à faible profondeur.

Le degré de l'érosion dépend des caractères de la roche :

- de la dureté des roches
- de la capacité de dilatation de la roche (thermoclastie est la différence de température entre le jour et la nuit) ;
- de sa chimie.

Les facteurs d'érosion sont : le climat, la pente, les propriétés physico-chimiques des roches, la couverture végétale (son abondance, sa nature) et l'action de l'homme (pratiques agricoles, urbanisation...).

L'eau, le vent ou les deux sont les acteurs de l'érosion. On peut en déterminer deux types : hydrique ou éolienne (fig. 11).

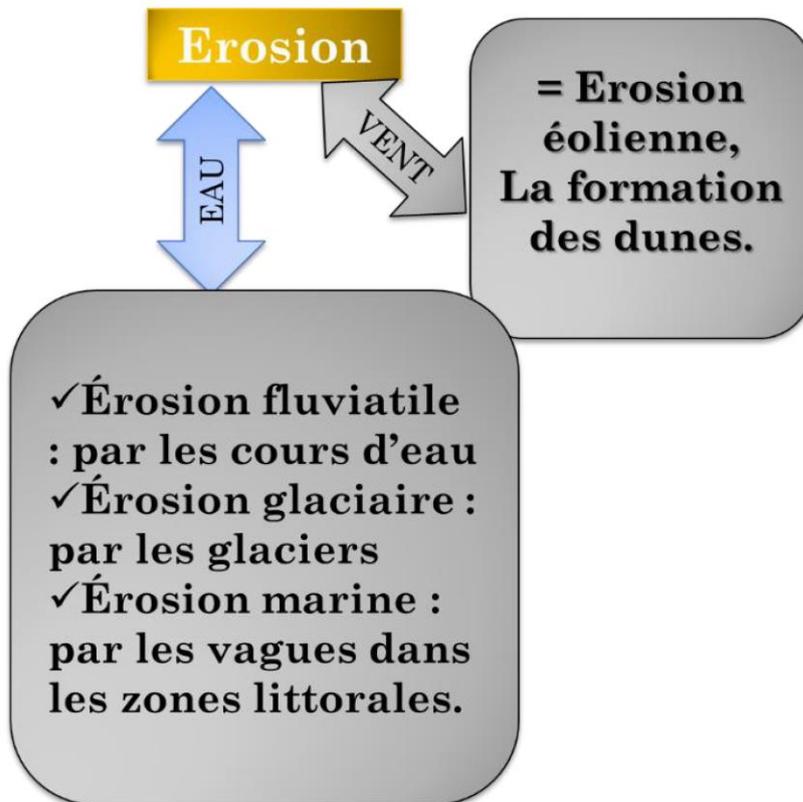


Figure 11. Types de l'érosion.

3.1.1 Action de l'eau

C'est une érosion mécanique et chimique :

- La désagrégation mécanique se produit sous l'action d'une force physique qui arrache des morceaux de roche plus ou moins volumineux, renforcée par la pente.
- La décomposition chimique des roches : son principal processus est la dissolution, en particulier des calcaires par la pluie plus ou moins acide, on parle alors de karst.

On distingue généralement trois phases dans le processus d'érosion par l'eau : destruction du matériel rocheux ; transport ; accumulation des débris (fig. 12).

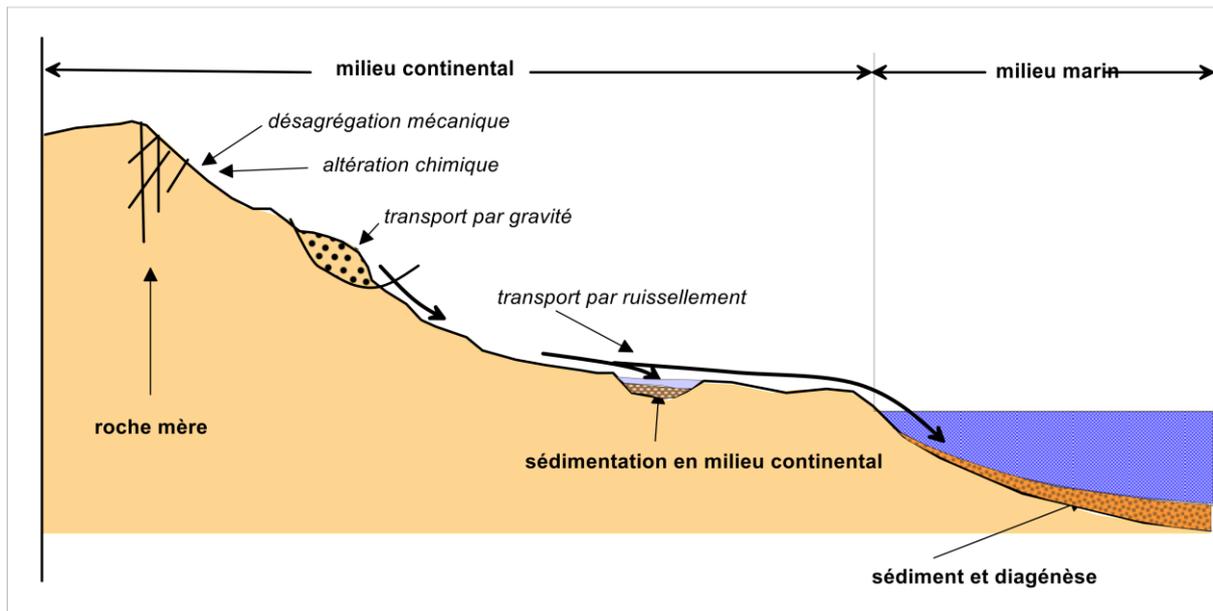


Figure 12. Phases de l'érosion par l'eau

3.1.2 Action du vent

Le vent constitue un facteur important de l'érosion et de transport des sédiments à la surface de la planète. Il est particulièrement actif dans les régions désertiques où la végétation est quasi-absente.

Lors de l'érosion éolienne, l'effet du vent entraîne :

- La disparition d'une grande proportion de la couverture végétale
- La détérioration de la structure du sol
- L'érosion de la couche la plus riche en éléments nutritifs.

L'érosion éolienne attaque les roches en enlevant des particules (déflation) ou en polissant la surface (corrosion) ou les deux (abrasion).

- La déflation consiste dans le nettoyage des surfaces meubles. Les matériaux fins sont enlevés au loin et vont s'accumuler dans les dépressions ou en bordure des déserts.
- La corrosion provoque des poliss apparents sur les surfaces dures.

Dans les déserts on a deux structures importantes :

- les pavements de désert (Reg) et
- les champs de dunes (Erg).

Processus de formation des ERG et des REG (fig. 13) :

Sous l'action du vent, les plus grosses particules se déplacent par roulement ou glissement (traction) à la surface du sol, sous l'effet de la poussée du vent ou des impacts des autres particules. Les particules de taille moyenne (sables) se déplacent par bonds successifs (saltation). Les particules très fines (poussières) sont transportées en suspension dans l'air souvent sur de très grandes distances (suspension).

En résumé les deux principaux types d'action (eau et vent) entrent en jeu dans l'érosion, et le plus souvent les deux effets s'additionnent : des processus chimiques et des processus physiques (fig. 14).

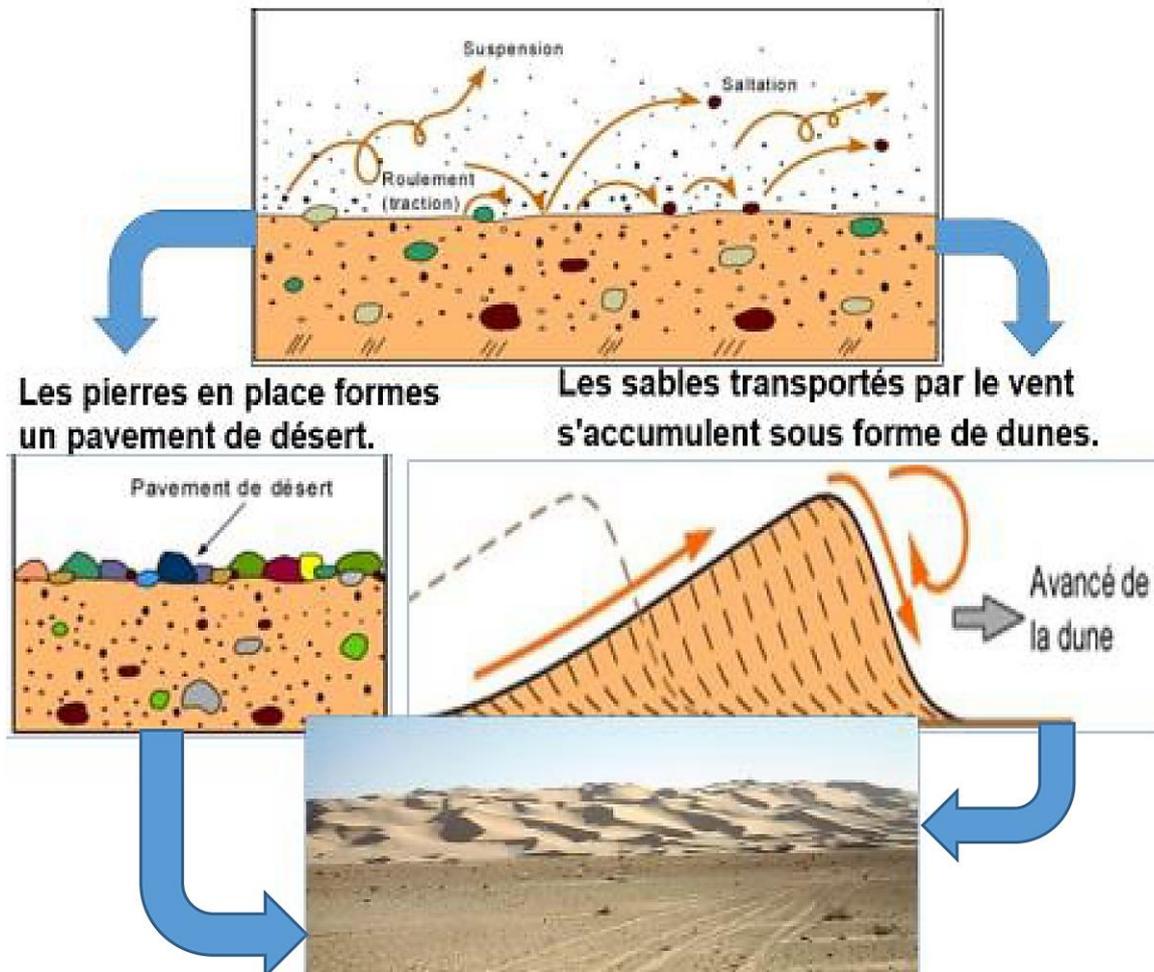


Figure 13. Processus de formation des ERG et des REG

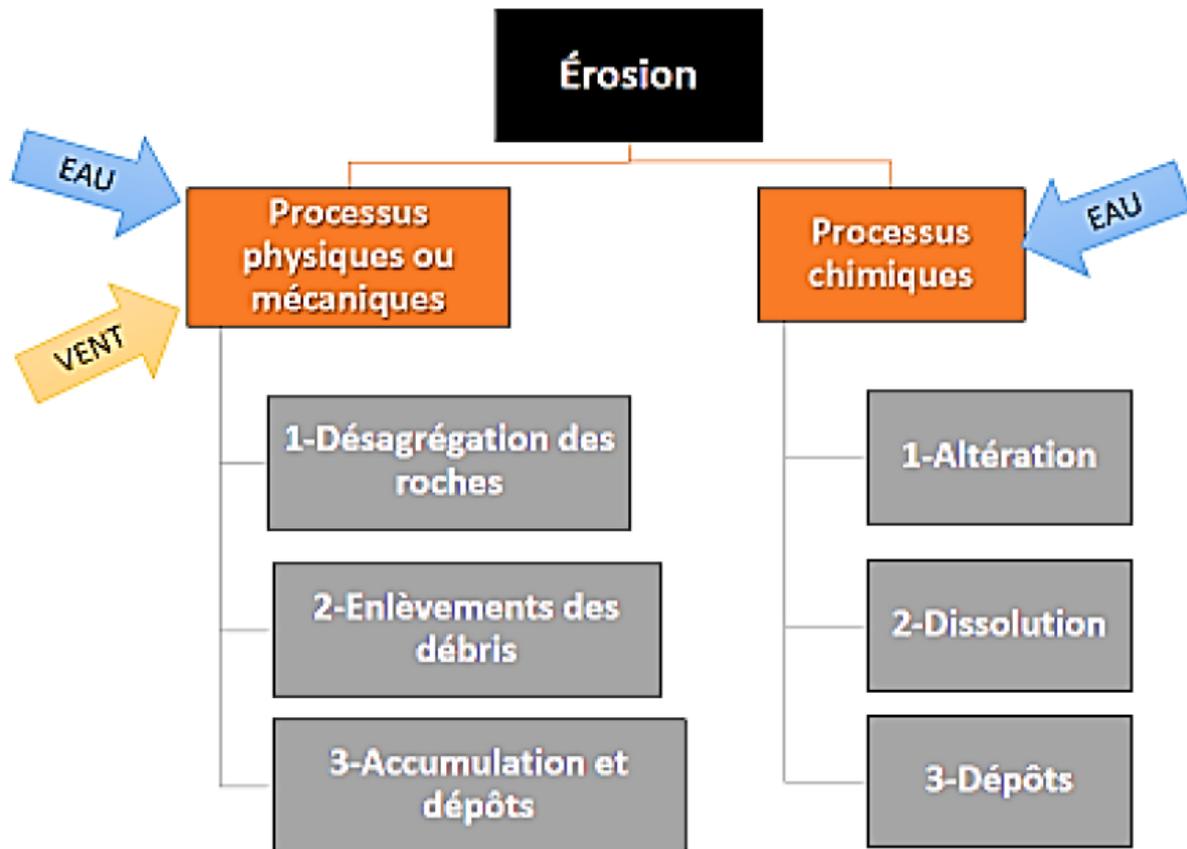


Figure 14. Processus de l'érosion.

3.2. Dépôts et sédimentation

Les produits meubles résultants de l'érosion « sédiments », transportés par l'eau finissent de s'accumuler et se déposer dans un bassin (point plus bas) dit bassin de sédimentation où commence la formation des roches sédimentaires.

3.2.1 Formation des roches sédimentaires

Les étapes qui conduisent à la formation des roches sédimentaires sont : l'altération superficielle des roches qui produit des débris ; le transport de ces débris par l'eau, le vent ou la glace ; le dépôt des particules pour former un sédiment et, finalement, la diagenèse qui transforme le sédiment en roche sédimentaire (fig. 15).

A-Altération superficielle :

Les processus de l'altération superficielle sont mécaniques, chimiques et biologiques. Appelés aussi la météorisation, ces phénomènes englobent toute modification (fragmentation et altération) subie par les roches au contact de l'atmosphère.

La météorisation peut être mécanique, si elle réduit la taille des roches, ou chimique, si elle modifie leur composition. Les principaux agents de la météorisation mécanique sont les variations de température (le gel et le dégel), et aussi l'action des plantes et de certains animaux fouisseurs. Les principaux agents de

la météorisation chimique sont le dioxygène, le dioxyde de carbone, la vapeur de l'eau, sous la forme de l'oxydation, l'hydratation et la dissolution.

L'action combinée des mécanismes de météorisation produit des particules de toutes tailles : c'est le point de départ du processus de sédimentation.

B- Transport :

Les roches altérées produisent de nombreuses particules qui vont être déplacés soit par l'eau, le vent ou la glace, mais c'est surtout l'eau qui assure le transport des particules.

En ce qui concerne le transport, on distingue selon la taille des particules, le transport en solution, le transport en suspensions, et le transport des grosses particules par charriage sur le fond.

C-Sédimentation :

Tout le matériel transporté s'accumule généralement dans un milieu aqueux, pour former un dépôt. Les dépôts sédimentaires sont stratifiés et les roches sédimentaires hériteront ces structures, cette stratification en lamelles, car les sédiments se déposent en couches successives dont la composition, la taille des particules, la couleur, etc., varient dans le temps selon la nature des sédiments apportés.

D-Enfouissement :

Suite à une augmentation continue de la matière déposée et accumulée, l'ensemble de couches des sédiments sont profondément enfouit où les conditions physiques (température et pression) favorisent la diagénèse.

E-Diagenèse :

Les facteurs qui interviennent lors de la transformation du sédiment en roche sont les êtres vivants, l'eau et des facteurs physiques (compression, élévation de la température, mouvement du sol) (Bellair P. et Pomerol C., 1984).

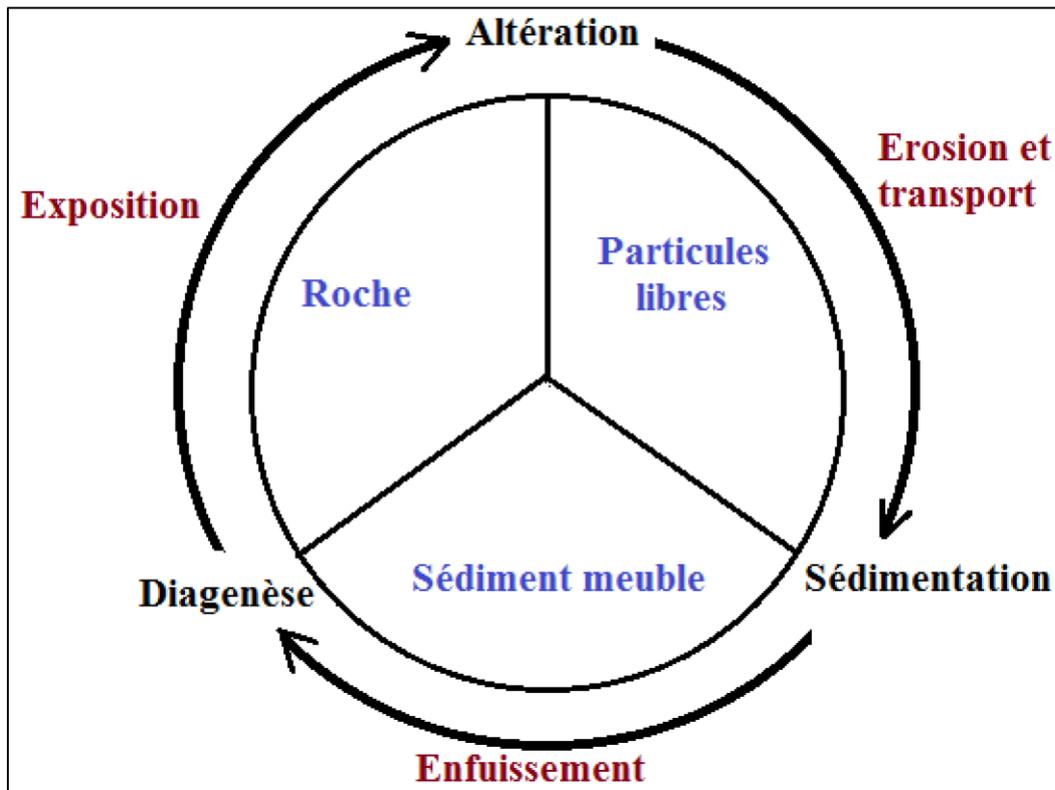


Figure 15. Cycle de la roche.

3.2.2 Classement des roches sédimentaires

Les roches sédimentaires sont très différentes les unes des autres, selon leurs origines et leurs compositions, on distingue quatre groupes (fig. 16) :

A- Roches sédimentaires d'origine détritique :

Les roches d'origine détritique sont formées à partir d'un dépôt composé d'éléments solides en provenance de la désagrégation ou destruction mécanique de roches préexistantes, c'est à dire de débris de roches. Les plus importantes sont : les conglomérats (poudingues, et brèches), les sables (meubles ou cohérents), les grès (fig. 17), les argiles.

B- Roches sédimentaires d'origine biochimiques :

Elles sont formées dans les océans, lorsque la matière morte se dépose sur les fonds marins, il y a accumulation progressive de squelettes d'animaux, de coquillages ou de coraux. Exemple : les calcaires.

C- Roches sédimentaires d'origine chimique :

Les roches d'origine chimique sont formées à partir de la précipitation ou la cristallisation de substances (ions ou sels minéraux) dissoutes dans l'eau. Les plus importantes sont : la halite, la sylvite, le sel gemme, le gypse (fig. 18), le calcaire, la dolomie, le silex.

D- Roches sédimentaires d'origine biologique ou organique :

Les roches d'origine organique, sont formées à partir de sédiments composés essentiellement de restes d'organismes vivants, ou d'un matériel produit de façon directe ou indirecte par les êtres vivants (végétaux, squelettes, coquilles, coraux, etc.). On peut aussi inclure dans ce groupe les roches qui ont

une origine biochimique, c'est à dire mixte, biologique et chimique. Les plus importantes sont : le travertin (fig. 19), le coquillier, la craie, les hydrocarbures (le pétrole et les bitumes) et les roches carbonées (le charbon).



Figure 16. Classification des roches sédimentaires en fonction de leur processus de formation



Figure 17. Grès du Lusitanien de la région d'El Bayadh



Figure 18. Gypse.



Figure 19. Structure interne des concrétions calcaires dans le ruisseau de Baume les Messieurs (Jura) (Thomas P., 2005).

3.3. Notions de la stratigraphie

La stratigraphie est la science qui étudie la succession des dépôts sédimentaires, généralement disposés en couches ou en strates. Elle permet d'établir une chronologie stratigraphique relative, grâce à l'utilisation de trois principes :

- Le principe de continuité selon lequel une même couche a le même âge sur toute son étendue.

- Le principe de superposition selon lequel, deux couches superposées, non renversées par la tectonique, la plus basse est la plus ancienne.
- Le principe de contemporanéité : deux formations situées sur des aires géographiques différentes et comportant des fossiles identiques sont de même âge.

Le document principal pour étudier l'âge des roches sédimentaires est l'Echelle géologique (fig. 20) : un document qui subdivise et nome toute l'histoire de la Terre. L'ère, la plus grande unité conventionnelle du temps géologique, se subdivise en systèmes, séries et étages (les étages correspondent à un ensemble de terrains de même âge) (source : larousse.fr).

Pour ces subdivisions les scientifiques utilisent une datation absolue (les isotopes comme ^{14}C , ^{87}Rb (rubidium), ^{86}Sr (Strontium) et/ou une datation relative (à l'aide des fossiles).

3.4. Notions de la paléontologie

3.4.1 Définitions

La définition de « paléontologie » est explicite si on s'intéresse à l'étymologie du mot. Le terme est en effet constitué de trois mots grecs :

- Paléo, du grec palaios qui signifie ancien ;
- Onto, du grec ontos vie, être ;
- Logie, du grec logos le discours, la science.

La paléontologie est donc la science qui étudie les formes de vie du passé. Elle s'intéresse à toute forme de trace laissée par un organisme vivant, fossilisé dans la roche. Les formes de fossiles les plus communes sont les restes de l'organisme, tels que le squelette d'un vertébré ou la coquille d'un mollusque (Tortosa T. et al, 2013).

Le terme « Fossile » a une définition plus large, car il ne correspond pas seulement à des restes d'organismes comme des ossements, il s'agit également d'empreintes (méduses dans le calcaire) et de moules (courant chez les coquilles), de traces d'activité (paléoichnologie), ou de même parfois d'activité chimique. Les fossiles sont souvent issus des parties minéralisées dures d'un organisme, et très rarement des tissus mous (Dubois L., 2018).

Le fossile constitue la matière première du paléontologue et, selon sa nature, apporte des informations directes ou indirectes sur l'organisme et son environnement. Selon sa taille, un fossile peut être qualifié de macrofossile (millimétrique à pluricentimétrique) ou de microfossile (millimétrique et infra millimétrique) (Tortosa T. et al, 2013).

Quand les conditions favorisent la bonne conservation d'un fossile, on parle d'une fossilisation : ensemble des processus qui conduisent à la conservation des objets dans les sédiments (Foucault A. et Raoult J.F., 1984).

3.4.2 Facteurs de la fossilisation

Les principaux facteurs favorables à la fossilisation sont (Dubois L., 2018) :

- Un enfouissement rapide et abondant (protection du cadavre de l'oxygène) ;
- Les catastrophes (Tsunamis, avalanches, crues...)
- Le mode de vie de l'organisme

- La nature chimique de l'organisme (présence d'un squelette ou exosquelette)

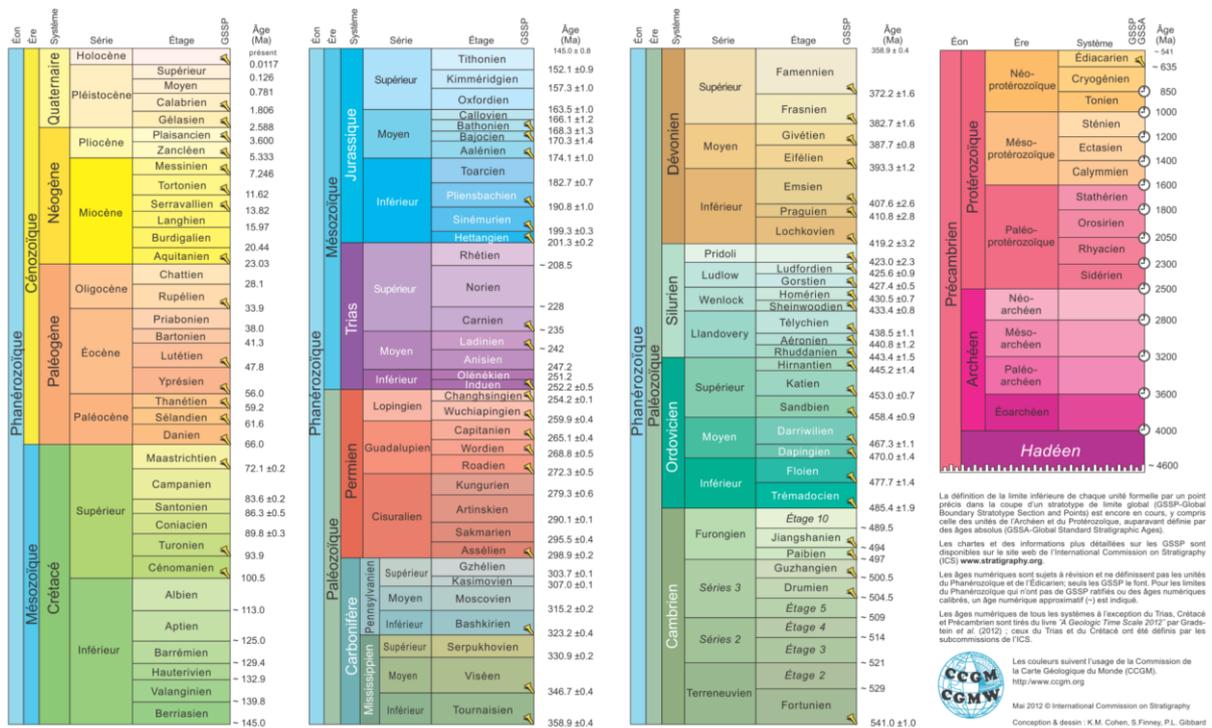


Figure 20. Echelle stratigraphique (Cohen, K.M., et al, 2013)

4. Chapitre 3 GEODYNAMIQUE INTERNE

La géodynamique interne s'intéresse aux processus internes de la planète ainsi qu'à leurs répercussions mécaniques en surface. Les grands phénomènes géologiques comme les tremblements de terre, les volcans, la formation des océans et des grandes chaînes de montagnes sont expliqués par le modèle de la tectonique des plaques (source : cnrs.fr).

4.1 Sismologie

L'ébranlement brusque de la lithosphère en un point quelconque provoque des vibrations qui se transmettent à travers le globe. Le passage de ces vibrations constitue un tremblement de terre ou séisme (Pomerol Ch. et al, 2013).

Il est le résultat de la libération d'énergie considérable accumulée par les déplacements et les frictions des différentes plaques lithosphériques.

On appelle foyer ou hypocentre, le point où se produit l'ébranlement, et où se libère l'énergie, et l'épicentre le point correspondant le plus proche sur la surface terrestre et où la secousse est maximale (Bellair P. et Pomerol Ch., 1984) (fig. 21).

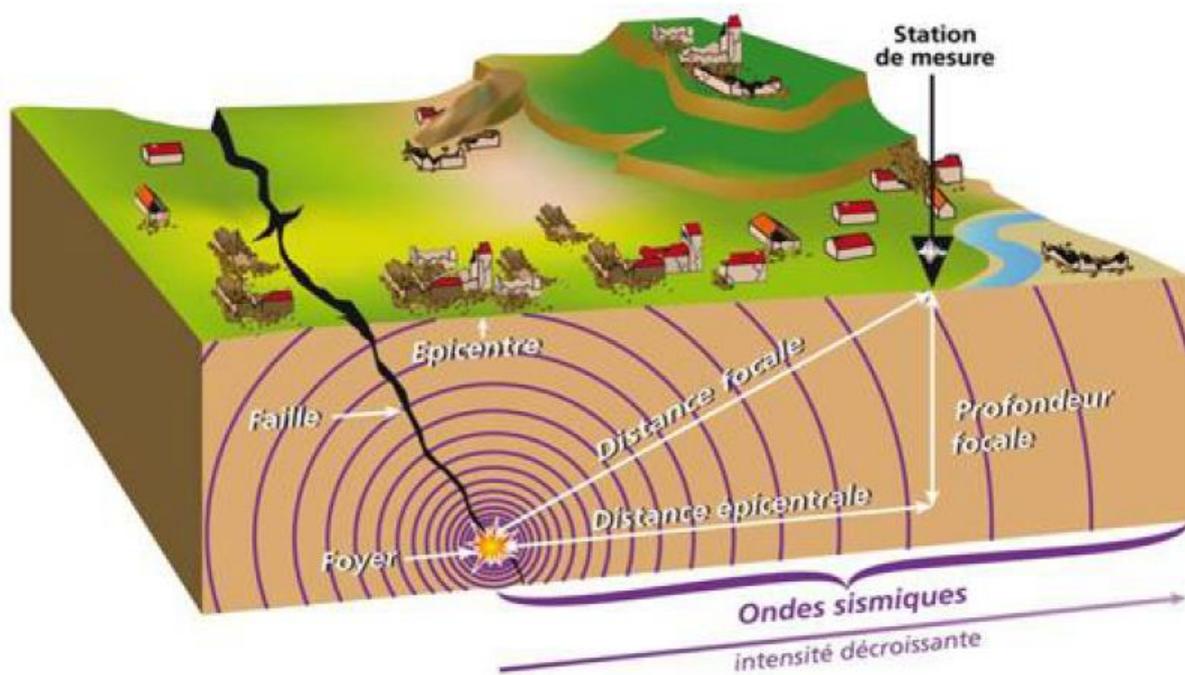


Figure 21. Bloc diagramme montrant les lignes isoséistes, leurs relations avec l'épicentre et les ondes issues du foyer d'un tremblement de terre (source : seisme.nc).

4.1.1 Etude des séismes

Des instruments sensibles « les sismographes » permettent d'enregistrer les caractéristiques d'un tremblement de terre : intensité, magnitude et effets (fig. 22 et 23).

Les paramètres permettant de quantifier l'énergie d'un séisme sont ;

- La magnitude ;
- L'intensité ;
- Les ondes sismiques.

A- Magnitude

La magnitude mesure l'énergie libérée par un séisme et permet d'évaluer sa puissance. Plus un séisme libère de l'énergie, plus sa magnitude est élevée. Cette grandeur physique fut utilisée pour la première fois en 1935 par le sismologue américain, C. F. Richter, qui étudiait les séismes californiens. Pour évaluer la magnitude, il prenait en compte l'amplitude maximale de la secousse sismique enregistrée par un sismographe et la distance à l'épicentre (tableau 1). (source : seisme.nc).

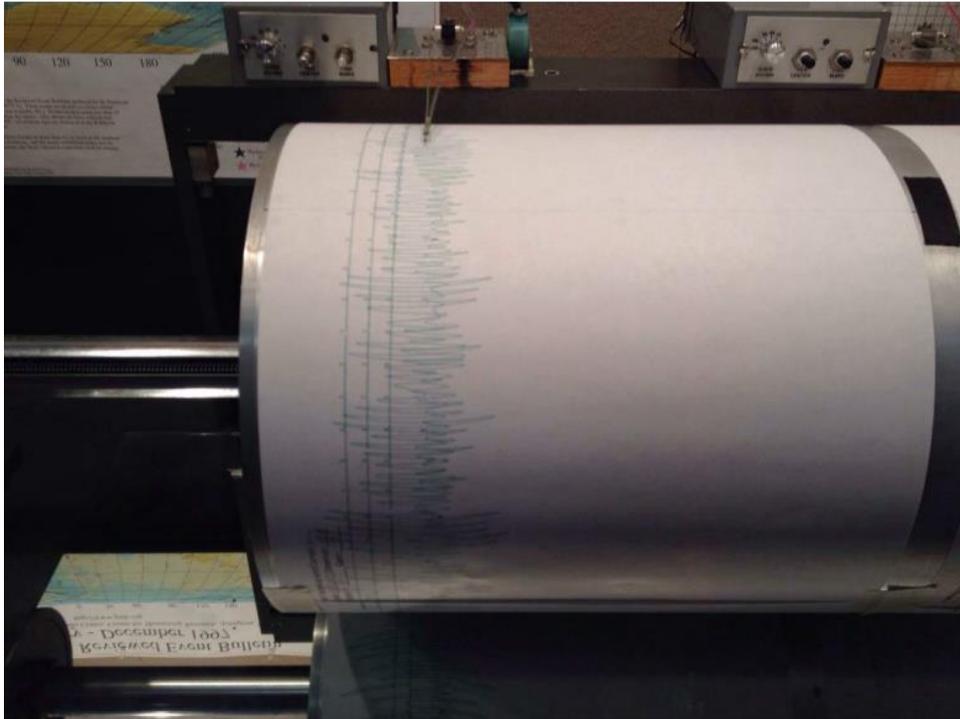


Figure 22. Sismographe (source : <https://imgur.com/gallery/Aym7A>)



Figure 23. Schémas des sismographes : vertical et horizontal (source : ikonet.com)

Tableau 1. Relation entre magnitude et l'énergie libérée par un séisme : échelle de Richter (Source : mementodumaire.net).

Magnitude	Energie Libérée	Nbr de séismes par an dans le monde (ordre de grandeur)
9	$E \times 30^5$	1 tous les 10 ans
8	$E \times 30^4$	1
7	$E \times 30^3$	10
6	$E \times 30^2$	100
5	$E \times 30$	1000
4	E	10 000
3	$E/30$	>100 000
2	$E/30^2$	
1	$E/30^3$	

B-Intensité

L'intensité est établie sur la base de l'observation des effets des séismes sur les populations et les infrastructures (Schneider J. L., 2009).

L'estimation de l'intensité d'un séisme en un endroit donné se fait selon une procédure très codifiée prenant en considération (tableau 2) :

- la classification des bâtiments éventuellement endommagés suivant la qualité de leur construction et les matériaux utilisés
- le degré d'endommagement des bâtiments (de dommages légers à destruction totale)
- les proportions de bâtiments endommagés ou de personnes ayant ressenti le séisme.

Tableau 2. Echelle de Medvedev, Sponheuer et Kamik, dite échelle MSK (source : edu.obs-mip.fr).

Degré	description
I	Non ressenti
II	Rarement ressenti
III	Faiblement ressenti
IV	Largement ressenti
V	Fortement ressenti
VI	Dégâts légers
VII	Dégâts significatifs
VIII	Dégâts importants
IX	Destructions
X	Destructions généralisées
XI	Catastrophe
XII	Changement de paysage

C-Ondes sismiques

La libération de l'énergie au cours d'un séisme se traduit par l'émission d'ondes sismiques qui se déplacent rapidement dans l'écorce terrestre mais également dans les enveloppes plus profondes de la planète (Schneider J. L., 2009).

On distingue deux types d'ondes :

Les ondes de volume qui traversent la Terre et les ondes de surface qui se propagent parallèlement à la surface. Sur les enregistrements des sismographes, elles se succèdent ou se superposent (fig. 24) (source : tpe-seisme-hb.e-monsite.com).

Les ondes de volumes :

Elles se propagent à l'intérieur du globe. Leur vitesse de propagation dépend du matériau traversé et d'une manière générale elle augmente avec la profondeur. Il y a deux sortes d'ondes de volumes : les ondes primaires et les ondes secondaires :

- **Les ondes primaires** appelés aussi les ondes **P**, des ondes de compression ou des ondes longitudinales ; le déplacement du sol qui accompagne leur passage se fait par des dilatations et des compressions successives. Ces déplacements du sol sont parallèles à la direction de propagation de l'onde.
- **Les ondes secondaires**, appelées aussi les ondes **S**, des ondes de cisaillement ou des ondes transversales. À leur passage, les mouvements du sol s'effectuent perpendiculairement au sens de propagation de l'onde. Ces ondes ne se propagent pas dans les milieux liquides, elles sont réfléchies vers la surface. Leur vitesse est de 4,06 km/s. Plus lentes que les ondes P, elles apparaissent donc en deuxième sur les sismogrammes.

Les ondes de surface :

Ce sont des ondes guidées par la surface de la Terre. Leur effet est comparable aux rides formées à la surface d'un lac. Elles sont moins rapides que les ondes de volume mais leur amplitude est généralement plus forte. On peut distinguer deux sortes d'ondes de surface :

Les ondes de Love appelées aussi les ondes L, elles sont caractérisées par une amplitude importante, une fréquence faible et un amortissement plus lent. Ce sont des ondes de surface qui se déplacent perpendiculairement au foyer.

Elles provoquent des cisaillements uniquement dans le plan horizontal. Elles sont donc perpendiculaires aux ondes S.

Elles peuvent être aussi très dangereuses pour les constructions. Ces ondes n'étaient pas enregistrées par les anciens sismographes. Seuls les sismographes à 2 dimensions peuvent les enregistrer.

Les ondes de Raleigh appelées aussi les ondes R, elles ne sont mesurables que sur les sismomètres modernes. Elles sont assimilables à une vague dans le sens où les molécules du sol se déplacent dans celui-ci comme les molécules d'eau dans une vague.

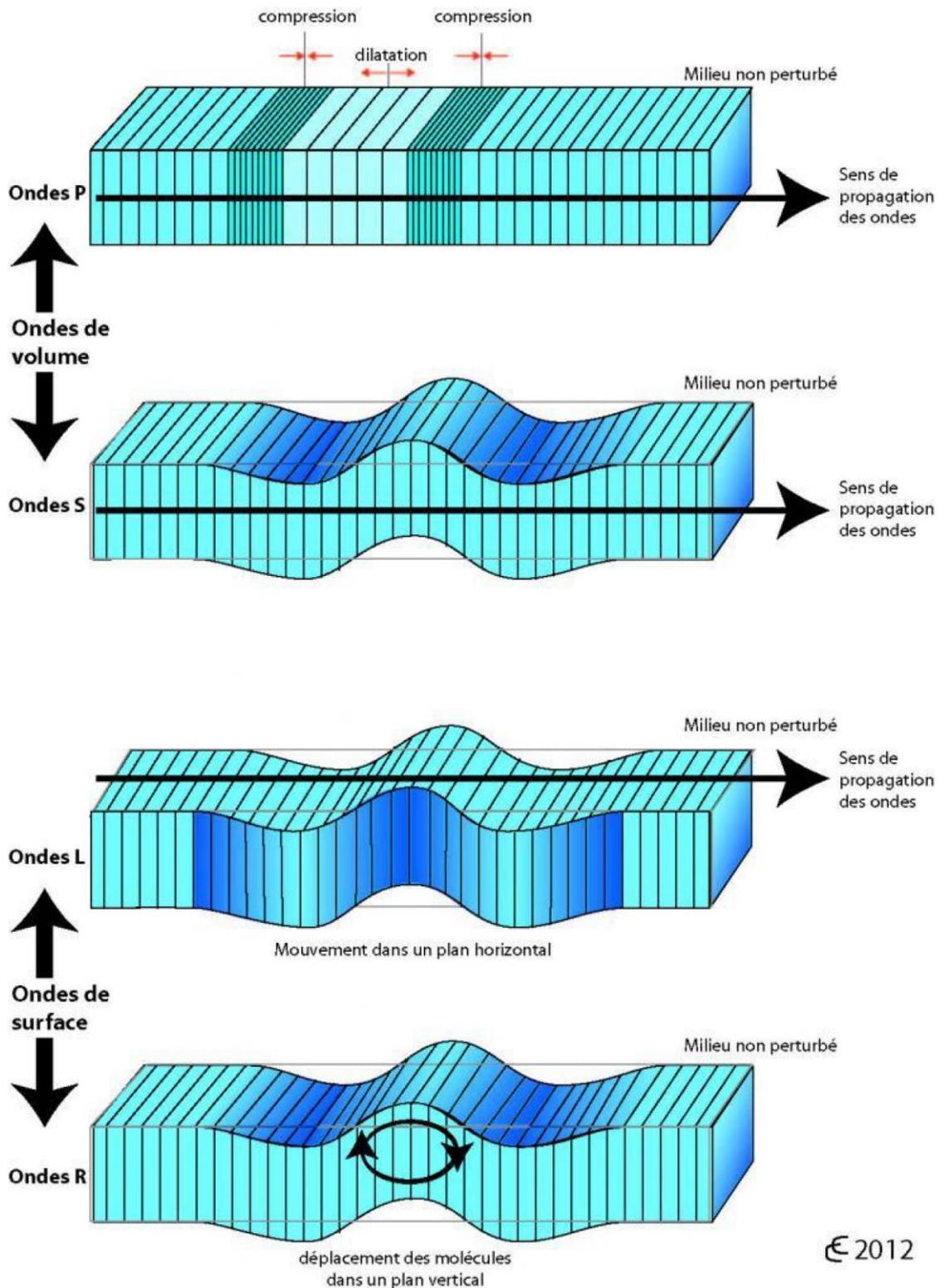


Figure 24. Schéma explicatif des différentes ondes sismiques observables (source : svt4vr.e-monsite.com).

4.1.2 Origine et répartition

Les tremblements de terre se produisent essentiellement dans les zones où les plaques tectoniques sont en mouvement. Au niveau de ces frontières, les masses rocheuses sont soumises à des contraintes, elles sont « comprimées » ou « étirées » et se déforment de façon élastique pendant des dizaines voire des milliers d'années. Les forces s'accumulent pendant une longue période de temps jusqu'à la rupture brutale (source : seisme.nc).

La figure ci-dessous nous montre la répartition des séismes à la surface de la Terre : les épicentres sont concentrés au niveau des frontières des plaques tectoniques.

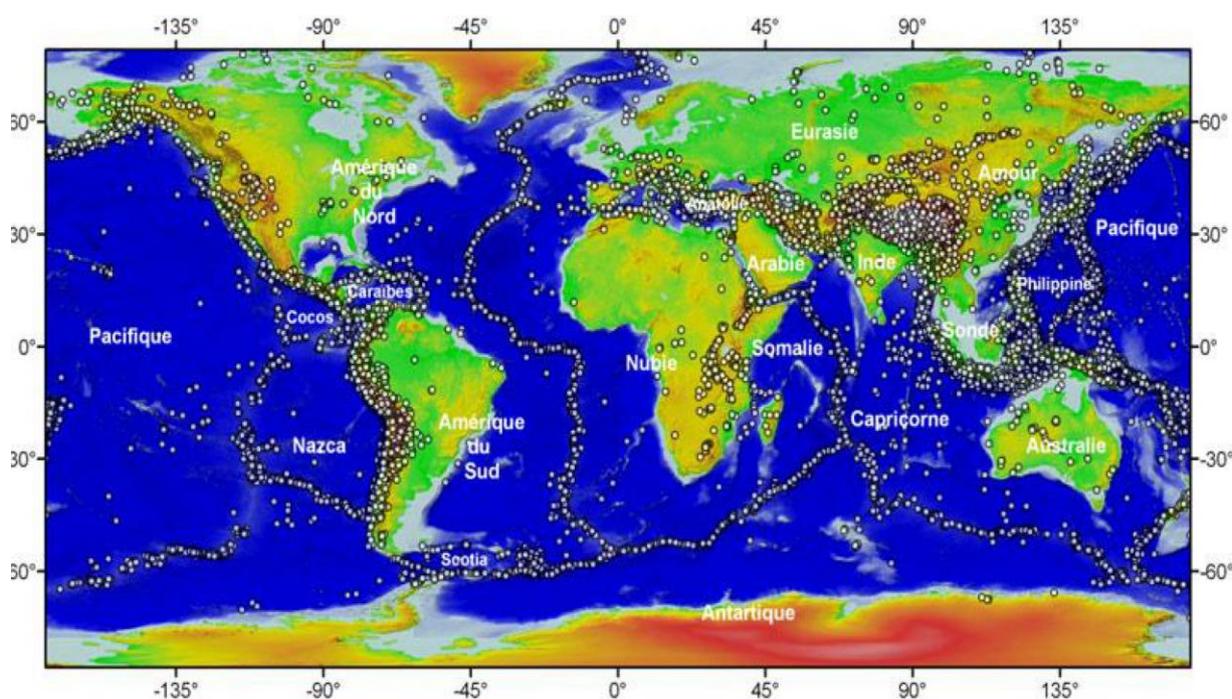


Figure 25. Carte de la sismicité mondiale. Les épicentres sont issus du catalogue de l'United States Geological Survey, pour la période 1973-2008 et pour tous les séismes de magnitude supérieure à 5 (source : irsn.fr).

4.1.3 Tectonique souple et cassante

Les mouvements de l'écorce terrestre provoquent, à une échelle de temps géologique, des déformations intenses résultant des reliefs montagneux. La tectonique étudie les phénomènes responsables à ces déformations à toutes échelles, en impliquant les forces de compression, de cisaillement, et d'écartement.

A- Tectonique souple : Plis

Les plis constituent la manifestation d'un comportement plastique (ductile) des roches sous l'effet de contraintes de compression.

Les plis s'observent à toutes les échelles, pluri kilométrique à millimétrique. D'une manière très générale, un pli résulte de la déformation souple d'une surface initialement plane.

Un pli élémentaire se compose d'une partie convexe vers le ciel ou anticlinal et d'une partie concave ou synclinale (Bellair P. et Pomerol Ch., 1984).

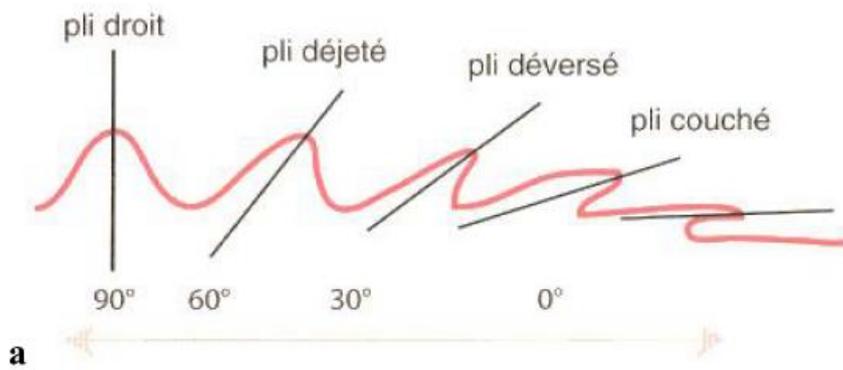
Les plis sont dits droits lorsque le plan axial est vertical. A l'autre extrême, il y a les plis couchés, lorsque le plan axial est horizontal. Entre les deux, il y a les plis déjetés et les plis déversés. Les plis droits résultent de contraintes de compression coaxiales, les plis déjetés et déversés de contraintes qui ne sont pas coaxiales (fig. 26).

B- Tectonique cassante : Faille

Lorsqu'une déformation dépasse le seuil de résistance mécanique de la roche, on parle d'une «déformation cassante». Elle se traduit par des plans de cassures « les failles ».

Une faille ou une fracture de cisaillement macroscopique accompagnée d'un glissement des blocs de part et d'autre du plan de faille. Elle est définie par le plan de rupture et par le vecteur de déplacement de chaque compartiment.

La faille sépare le volume rocheux en deux blocs : le toit, qui correspond au bloc situé au-dessus du plan de faille, et le mur, situé sous le plan de faille (fig. 27). Les surfaces du mur et du toit au contact avec le plan de faille sont parfois polies lors du glissement le long de la faille ; on appelle alors ces surfaces polies des miroirs de failles. Le vecteur-glissement, soit le rejet réel de la faille, correspond à la ligne de séparation entre deux points situés sur le mur et le toit et qui étaient initialement contigus (source : ggl.ulaval.ca).



Déformation plastique - Régime compressif

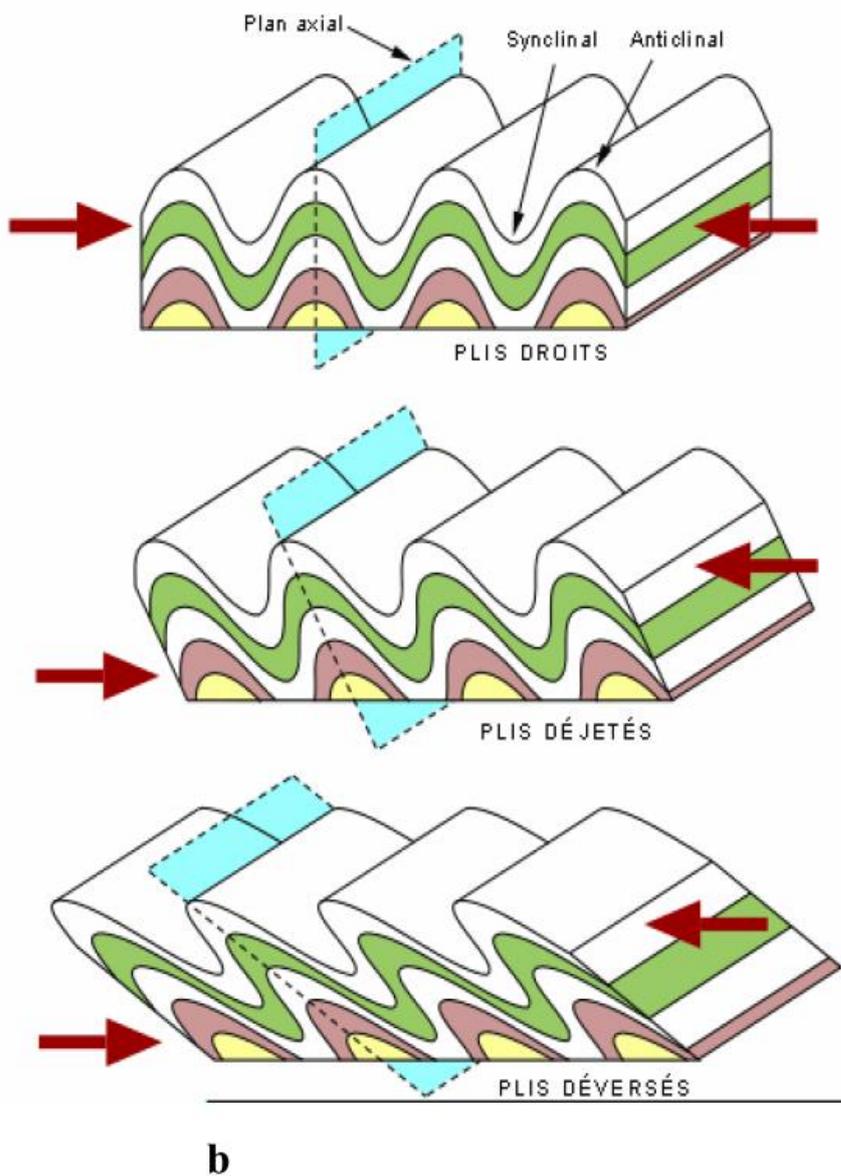


Figure 26. a : Principaux types des plis (Emmanuel L. et al. 2007) ; b : Géométries des plis (Bourque P. A., 2010)

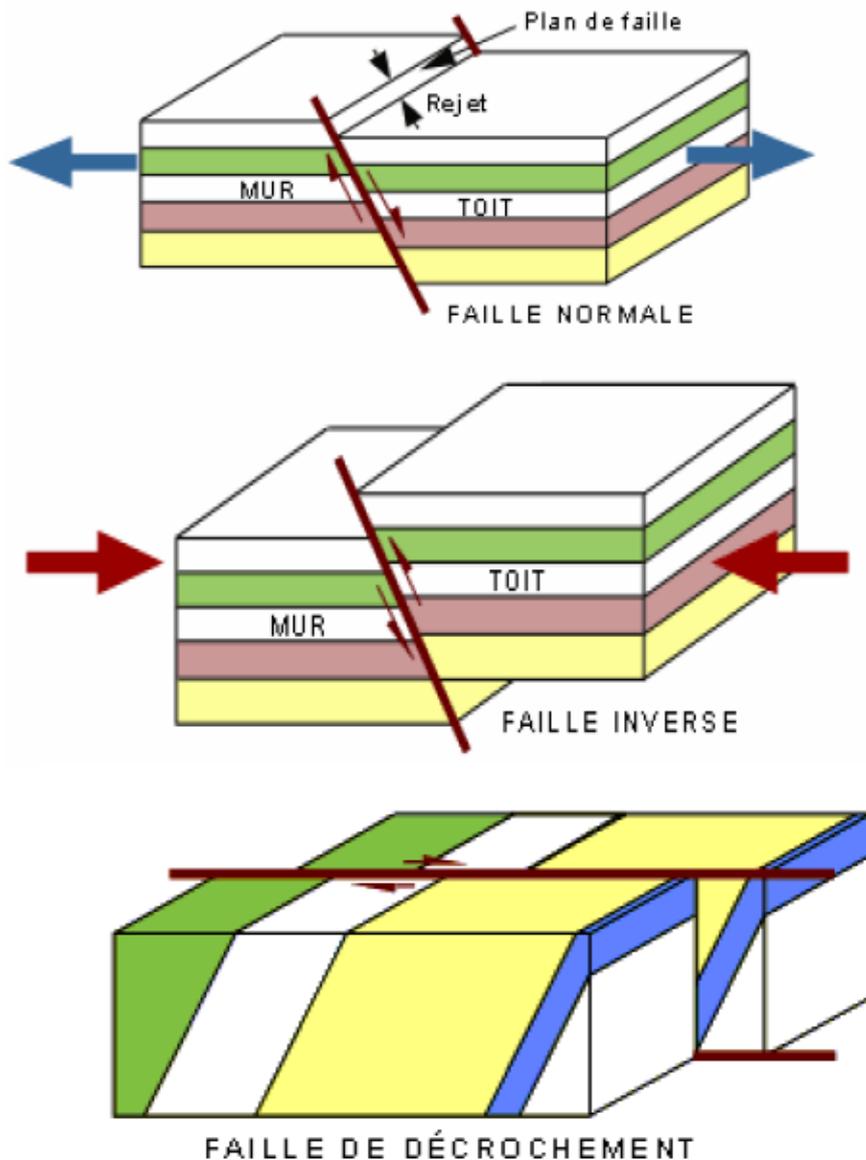


Figure 28. Géométrie et types des failles (Bourque P. A., 2010).

4.2 Vulcanologie

4.2.1 Volcan

Les volcans sont des appareils qui mettent en relation la surface du globe avec des zones internes où les roches sont à une température permettant leur fusion. Ces roches en fusion viennent s'épancher à la surface du sol, en y créant des reliefs surajoutés de structures variées. (Bellair P. et Pomerol Ch., 1984) (fig. 29).

Type des volcans

Selon les caractéristiques du magma, fluide ou visqueux, et de la forme de la cheminée on peut distinguer 5 principaux types de volcans (fig. 30). Le tableau 3 résume leurs caractéristiques :

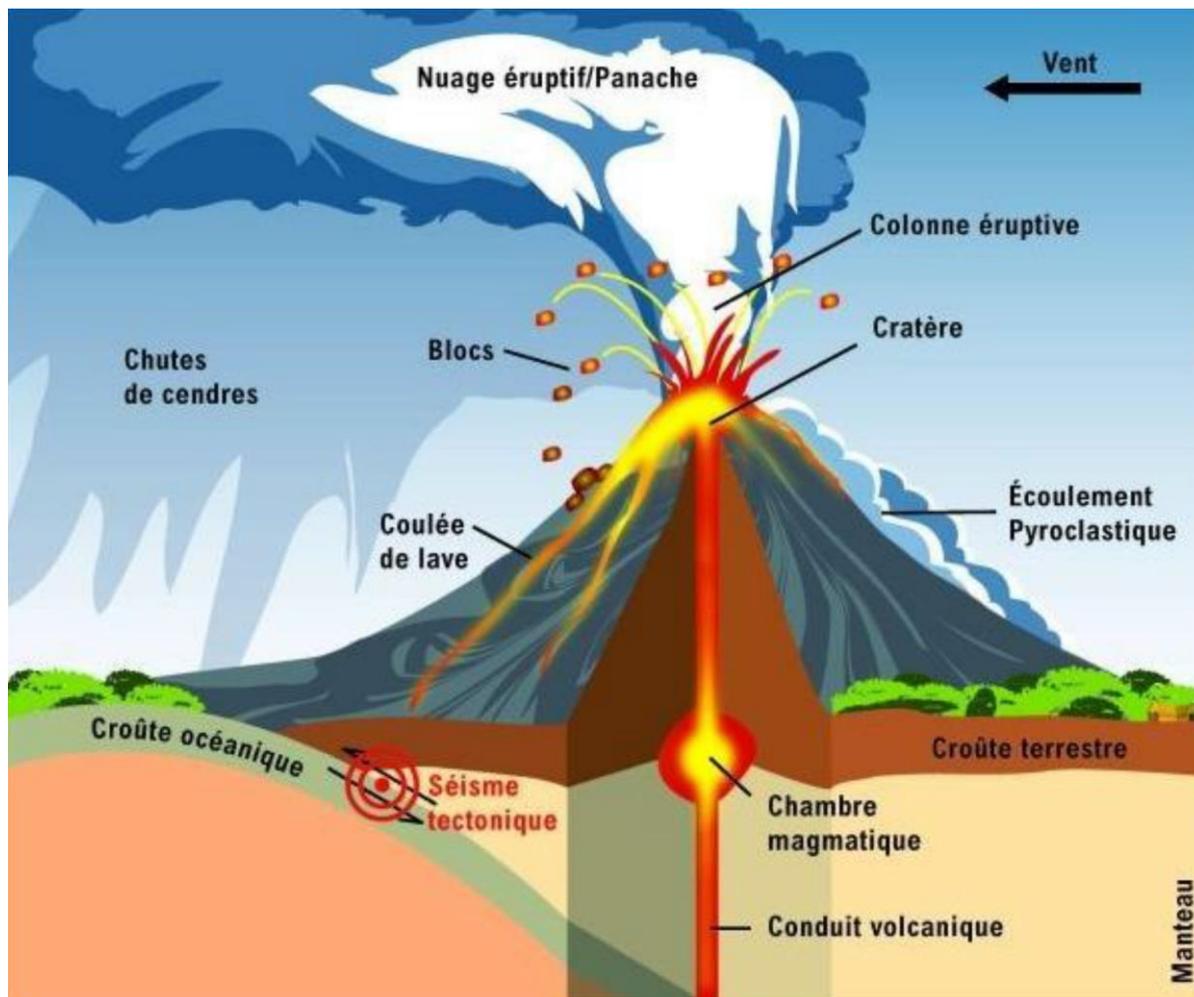


Figure 29. Schéma général d'une éruption (source : ird.fr)

Tableau 3. Caractéristiques des différents types de volcan.

Type	Magma	Éruption	Éjection principale	Caractéristiques de l'éruption
Hawaïen	basique	effusive	coulées de lave longues et fines = lave pahoehoe	éruption "calme", dégazage sans explosion, très peu de projection.
Strombolien	intermédiaire - un peu visqueux	coulées et fontaines de lave + projections pyroclastiques	coulées et fontaines de lave + projections pyroclastiques	fontaines et coulées de lave - beaucoup de projections pyroclastiques (bloc, bombe, lapilli, etc...). Petit panache de gaz et de cendres
Plinien	acide	explosive	immense panache de gaz et de cendres de plusieurs kilomètres de haut	énormément d'éjection pyroclastique
Péléen	acide	explosive	Panache de gaz et de cendre et coulées pyroclastiques (nuées ardentes)	Nuées ardentes. Grand panache de gaz et cendres. Éventuellement dôme ou aiguille de lave.
Vulcanien	acide	Explosive et très violente	Lave très visqueuse beaucoup de cendres	Eruption très violentes pouvant conduire à la destruction du volcan lui-même

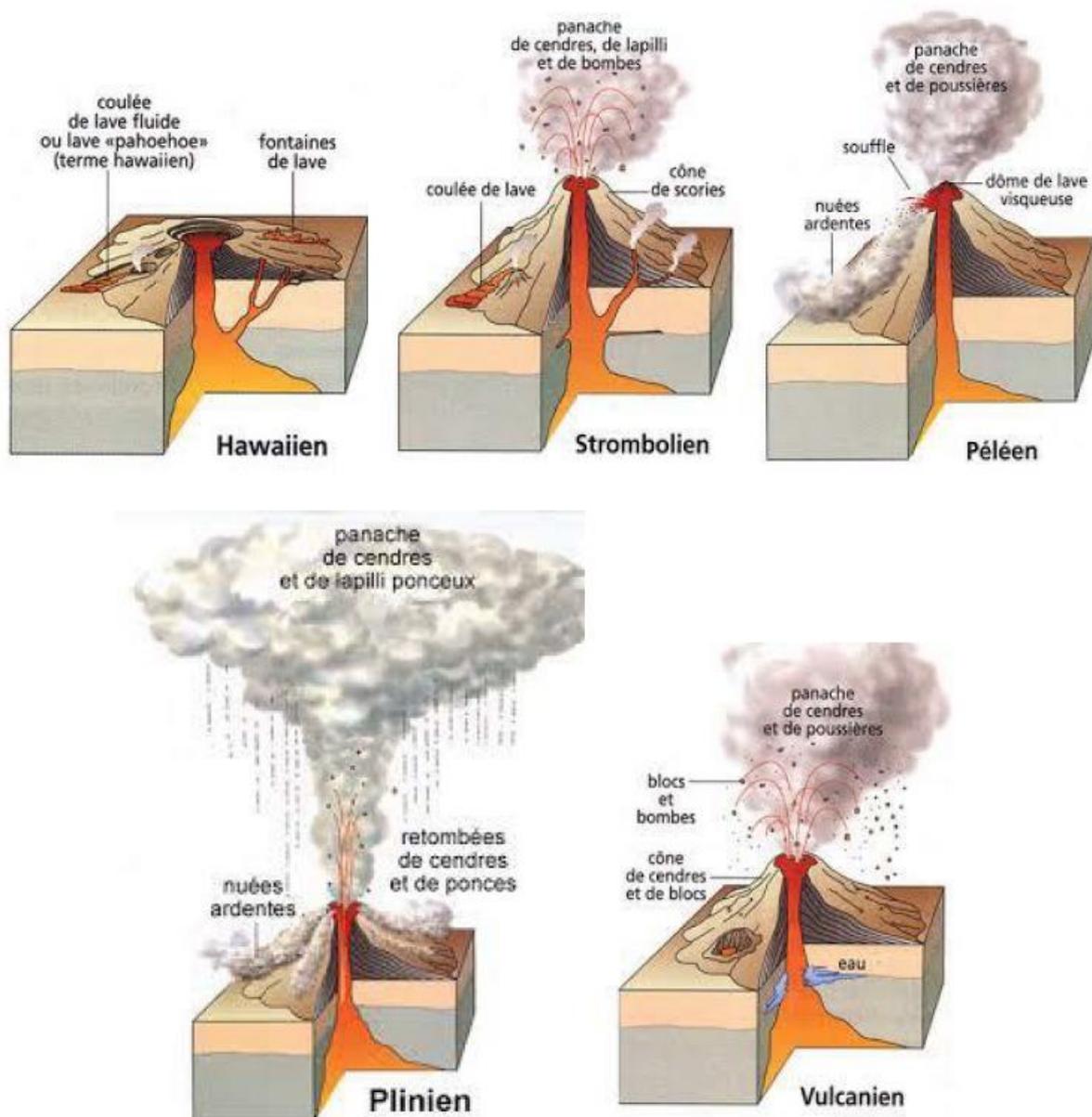


Figure 30. Types des volcans (source : etude-volcans.e-monsite.com).

4.2.2 Roches magmatiques

Les roches magmatiques se mettent en place par cristallisation d'un magma (Emmanuel L. et al. 2007). Ce magma vient des profondeurs de la Terre où il est soumis à une grande pression.

Les roches magmatiques sont des roches endogènes, c'est-à-dire ayant pris naissance à l'intérieur de la Terre. Les unes sont issues de matières fondues, ou « magmas », qui ont fait éruption à la surface : ce sont les roches volcaniques. Les autres se sont formées en profondeur et n'apparaissent que par le jeu des déformations de l'écorce et de l'érosion : ce sont les roches plutoniques (Lelubre M., 2018).

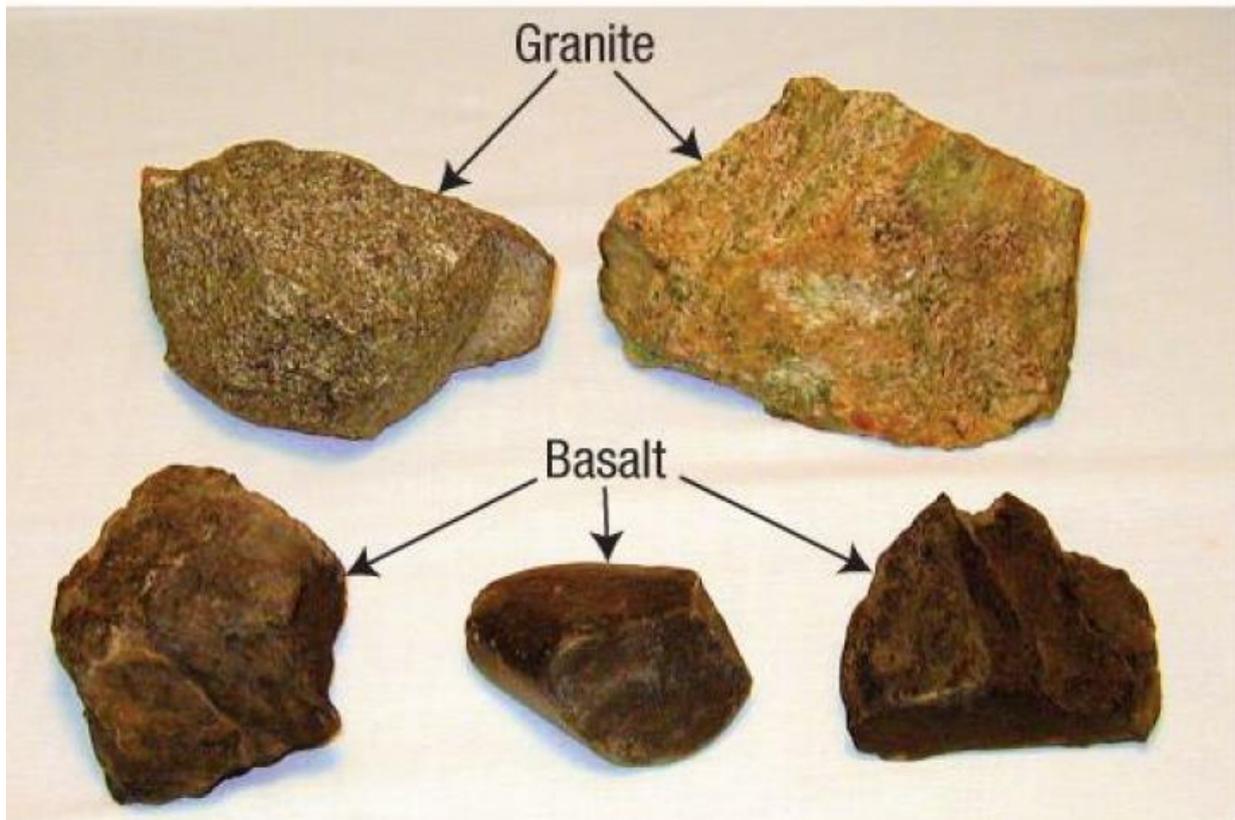


Figure 31. Granite et basalte (source : herboyses.blogspot.com)

4.2.3 Etude des magmas (Évolution chimique des magmas)

Les magmas qui alimentent les volcans proviennent tous d'une même source, le manteau, situé entre le noyau de la Terre et la croûte continentale ou océanique. Mais leur diversité montre que cette source n'est pas homogène. Les roches du manteau ont en effet une composition chimique variable, qui témoigne des conditions de leur formation et des mouvements de convection qui les animent.

Le manteau lui-même est inaccessible à l'observation, mais l'analyse de la composition chimique des roches éruptives, qui en sont issues, permet de formuler des hypothèses sur sa dynamique. Par leurs proportions ou celles de leurs isotopes, certains éléments présents en quantités même très faibles peuvent témoigner de la formation des magmas au sein du manteau et des processus qui s'y déroulent tout au long de l'histoire de la Terre (source : -iuem.univ-brest.fr).

4.3 Tectonique des plaques

La tectonique des plaques est une hypothèse selon laquelle la partie superficielle de la Terre est de plaques rigides flottant sur l'asthénosphère déformables (Foucault A. et Raoult J.F., 1984). Cette théorie confirme que les déformations de la lithosphère sont reliées aux forces internes de la Terre et que ces déformations se traduisent par le découpage de la lithosphère en un certain nombre de plaques rigides (12 plaques principales) qui bougent les unes par rapport aux autres en glissant sur l'asthénosphère (fig. 32 et 33).

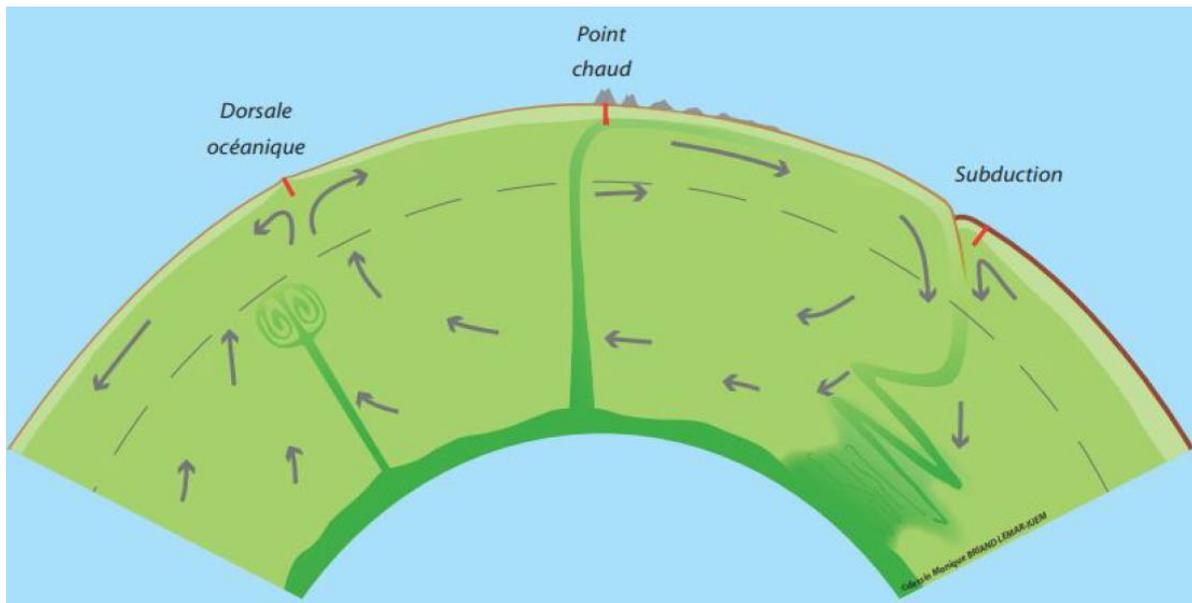


Figure 32. Un des modèles de la dynamique interne du manteau (Bourque P. A., 2010).

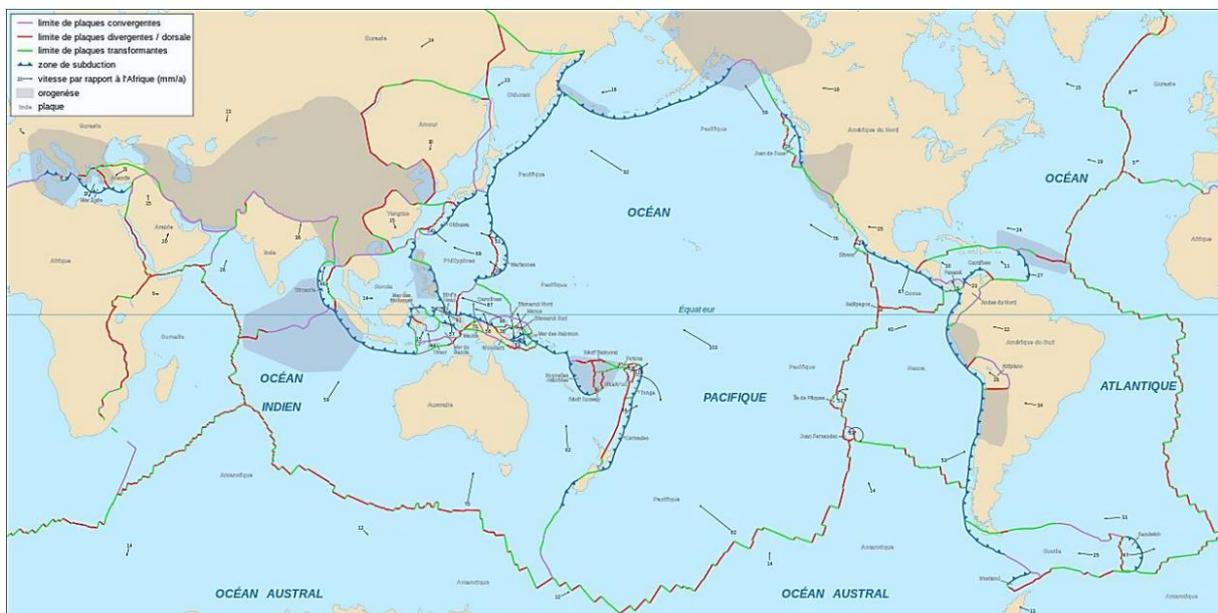


Figure 33. Principales plaques continentales d'aujourd'hui et la direction dans laquelle elles se déplacent (source : etude-volcans.e-monsite.com).

4.3.1 Zones d'accrétion ou d'expansion océanique

On appelle zone de divergence, d'accrétion ou d'expansion le lieu d'écartement de deux plaques lithosphériques. L'écartement des plaques (divergentes) s'effectue à partir des dorsales par émission continue de basalte sous-océanique, qui se présente généralement en coussins de lave. Ses zones sont considérées comme une zone de production de croûte océanique (fig. 34).

On distingue souvent deux types (Bouchardon J. L., 2005) :

- En milieu océanique, on parle de dorsale ou ride médio-océanique,
- En milieu continental on parle de rift,

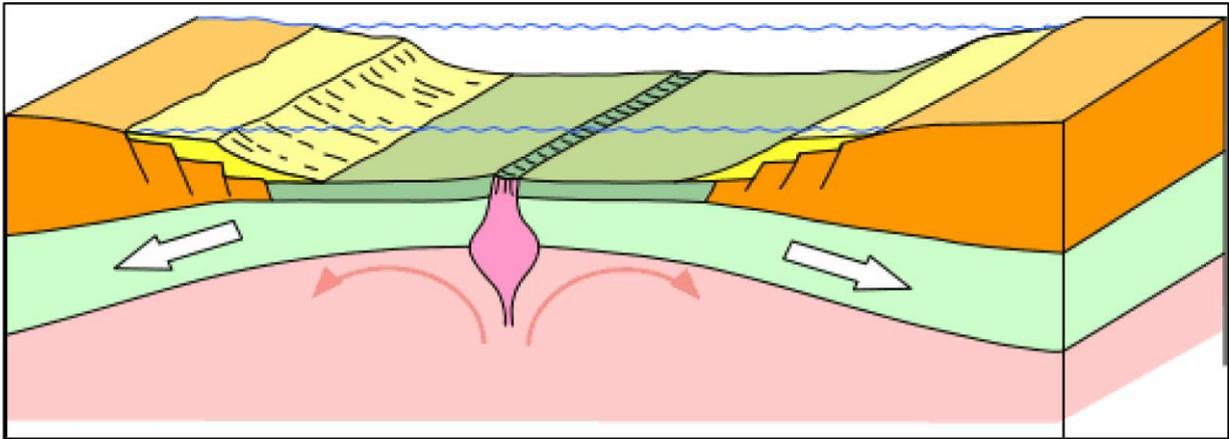


Figure 34. Zone d'accrétion ou d'expansion océanique (Bourque P. A., 2010)

4.3.2 Zones de subductions

En contrepartie des zones d'accrétion, les plaques s'opposent en zones de convergence où une plaque plonge sous une autre, donnant naissance à la limite des deux plaques à une dépression allongée, de grandes dimensions et de grande profondeur, à flancs plus au moins inclinés qu'on appelle « fosse ».

A-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 (fig. 35, 36 et 37) (Bourque P. A., 2010).

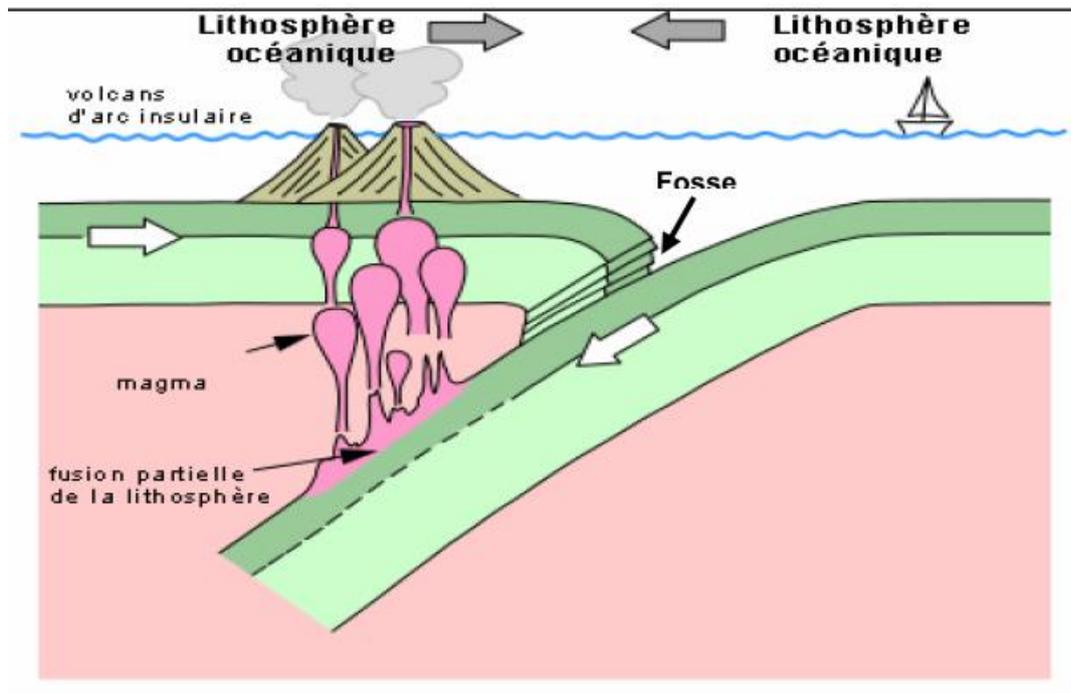
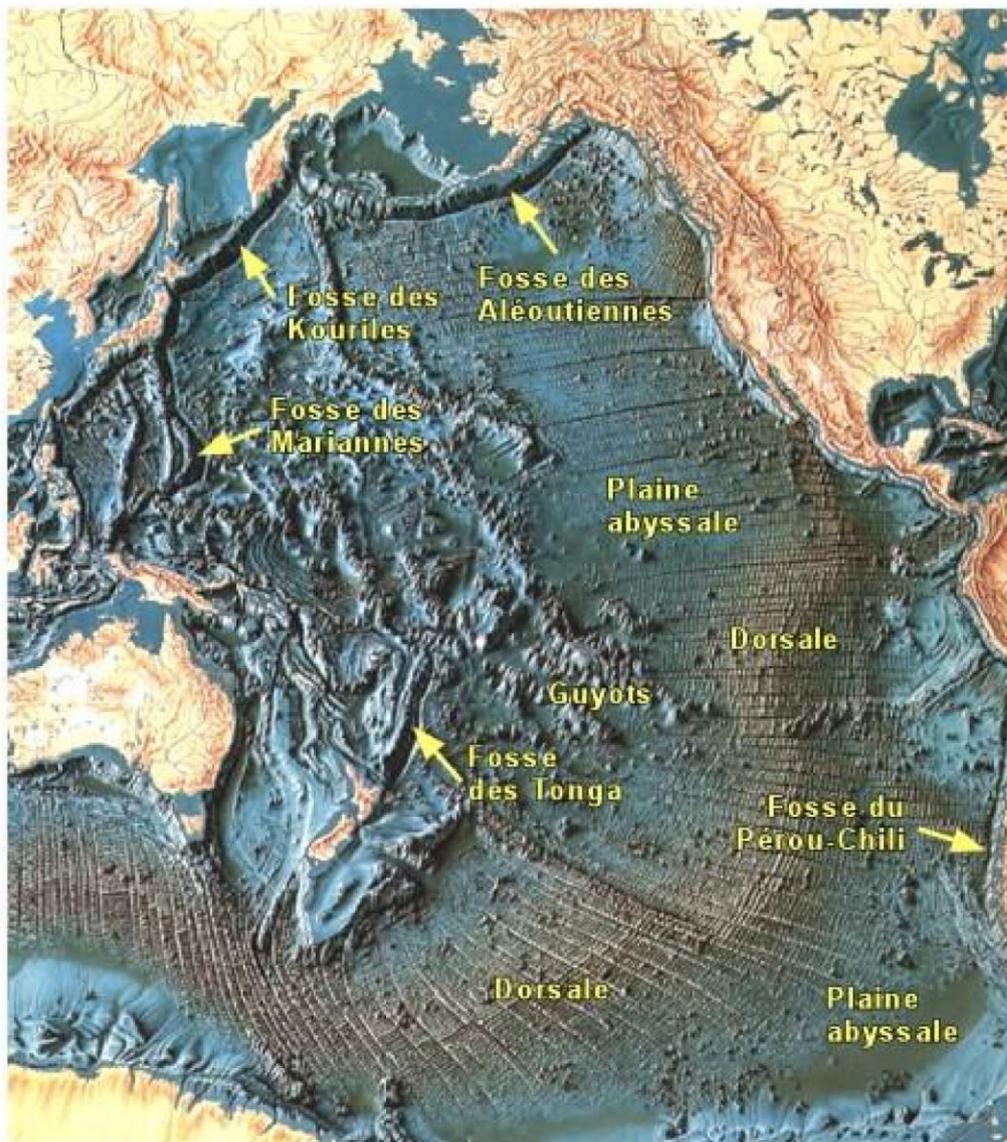
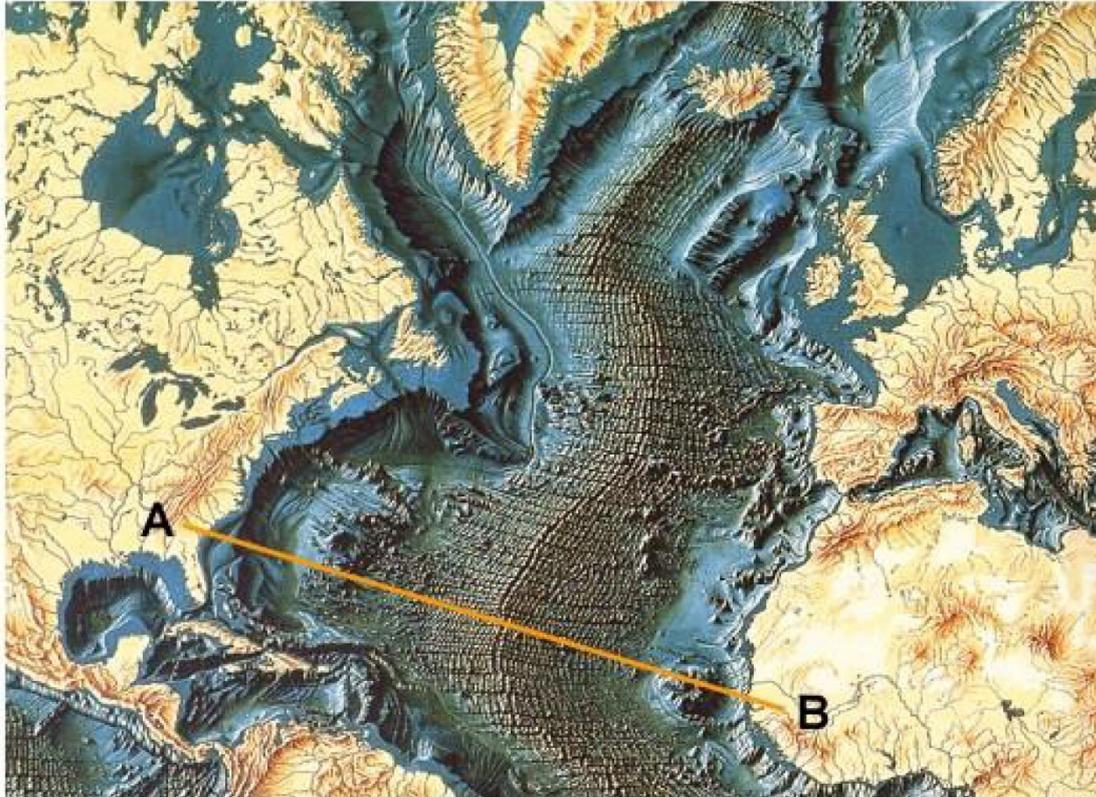


Figure 35. Zone de subduction Océanique-Océanique (Bourque P. A., 2010)



Cette carte des fonds océaniques du Pacifique montre les principaux éléments topographiques des fonds océaniques: pentes continentales, plaines abyssales, dorsales médio-océaniques, fosses profondes (F. des Aléoutiennes, 7822 m.; F. des Kouriles, 10542 m.; F. des Mariannes, 11034 m.; F. des Tonga, 10882 m.; F. du Pérou-Chili, 8066 m.), ainsi que d'innombrables pics sous-marins (guyots).

Figure 36. Grandes fosses des Mariannes, de Tonga, des Kouriles et des Aléoutiennes



Ce profil à travers l'Atlantique-Nord va du Cap Hatteras (USA) au Cap Vert (Afrique); il montre les principaux éléments du relief des fonds océaniques. Il n'y manque que les fosses profondes (jusqu'à 11 000 m) qu'on retrouve au pourtour du Pacifique.

Figure 37. Arc des Antilles bordant la mer des Caraïbes Atlantique.

B- 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 (fig. 38 et 39).

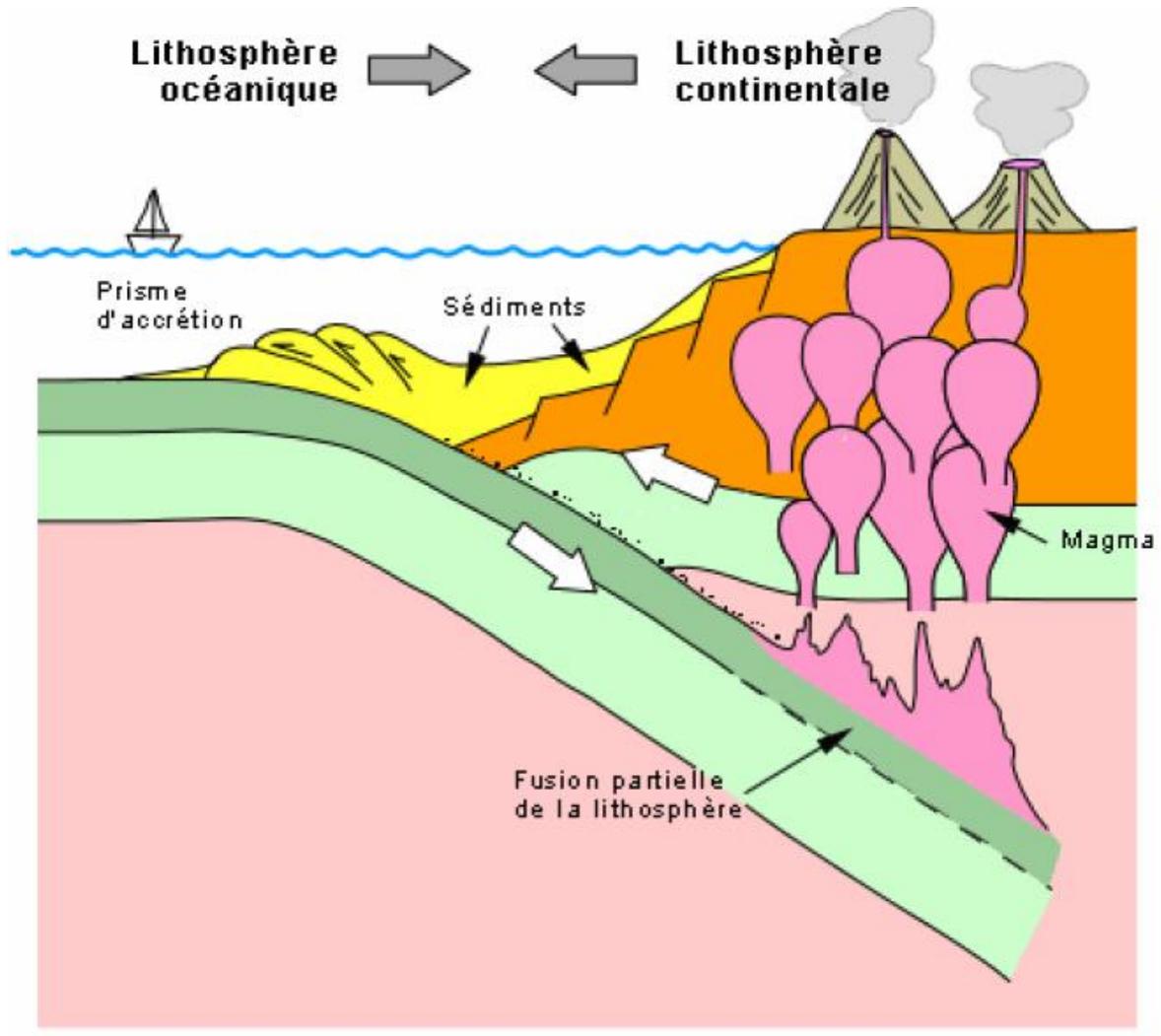


Figure 38. Zone de subduction Continentale-Océanique (Bourque P. A., 2010).



Figure 39. Cordillères des Andes en Amérique du Sud reliés à la fosse du Pérou-Chili (Bourque P. A., 2010)

C- Un troisième type de collision implique la convergence de deux plaques continentales. L'espace océanique se refermant 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 (fig. 40 et 41).

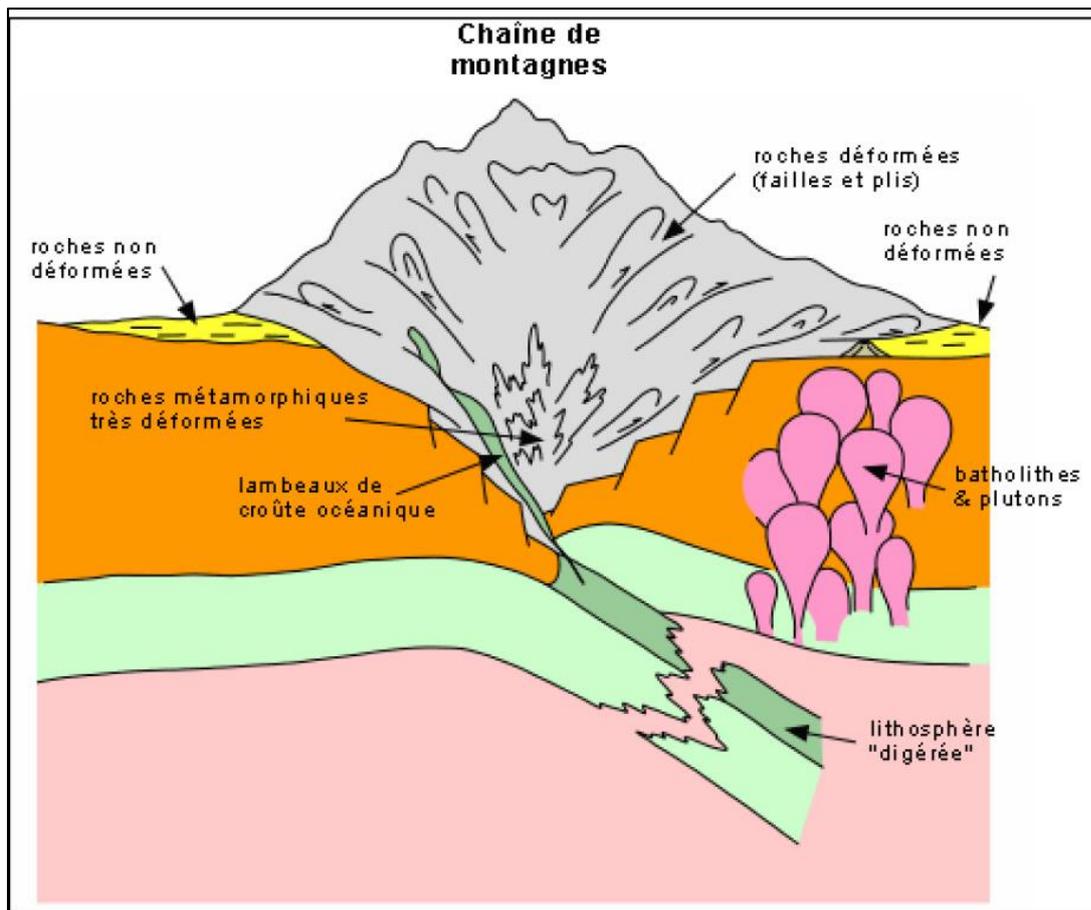


Figure 40. Zone de subduction Continentale- Continentale (Bourque P. A., 2010).

Il y a quelques millions d'années à peine, l'Inde est entrée en collision avec le continent asiatique. Il en est résulté une haute chaîne de montagnes plissée, l'Himalaya. Plus précisément, on devrait dire que l'ancienne plaque indienne est venue se souder à la plaque eurasienne. Cette ancienne plaque était composée de lithosphère continentale (l'Inde actuel) et de lithosphère océanique (cette portion entre l'Inde et la dorsale indienne au sud, bordée à l'ouest par la ride des Chagos et à l'est par la ride Quatre-Vingt-Dix Est). La migration vers le nord de l'Inde s'est amorcée il y a quelques 130 millions d'années, à la faveur de formation de nouvelle croûte océanique à la dorsale indienne. Les deux rides actuelles des Chagos et Quatre-Vingt-Dix Est correspondent à d'anciennes failles transformantes le long desquelles a glissé la plaque indienne.

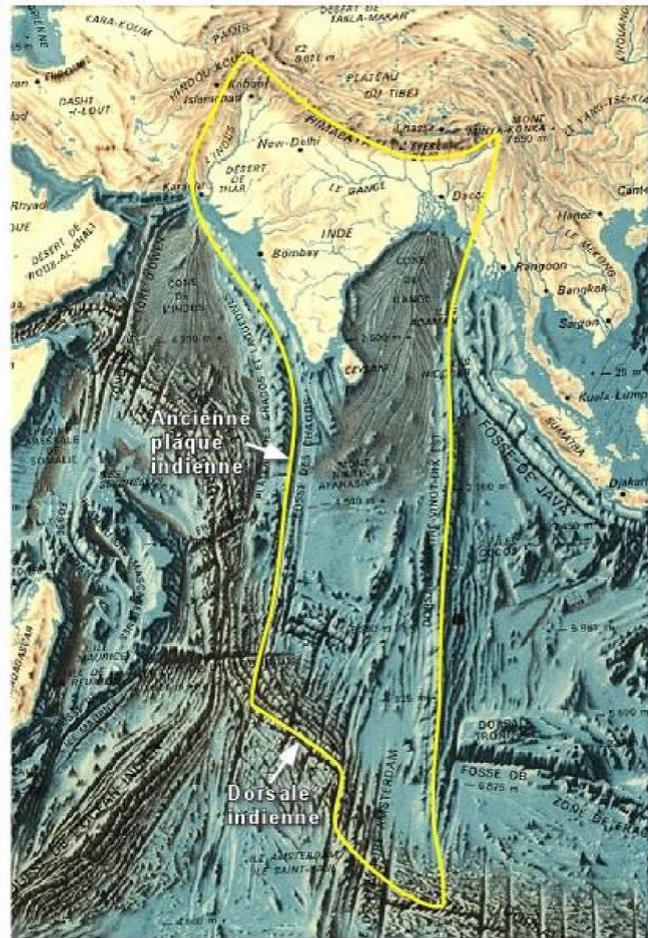


Figure 41. Figure 41 : Plaque indienne et la formation de l'Himalaya (Bourque P. A., 2010)

4.3.3 Frontières transformantes

Les frontières transformantes correspondent à de grandes fractures qui affectent toute l'épaisseur de la lithosphère ; on utilise plus souvent le terme de failles transformantes pour indiquer la frontière entre deux plaques où il n'y a ni création ni destruction de croûte, mais coulissement (fig. 42).

En résumé, on peut noter que l'essentiel de la déformation qui se produit à la surface du globe est la conséquence du déplacement des plaques rigides les unes par rapport aux autres ; cette déformation est concentrée dans d'étroites « ceintures » orogénique, situées entre les plaques. La figure 43 montre les trois rides océaniques et deux zones de subduction ; la somme des vitesses d'écartement des crêtes est égale à la somme des vitesses de rapprochement des zones de subduction (Mattauer M., 1980).

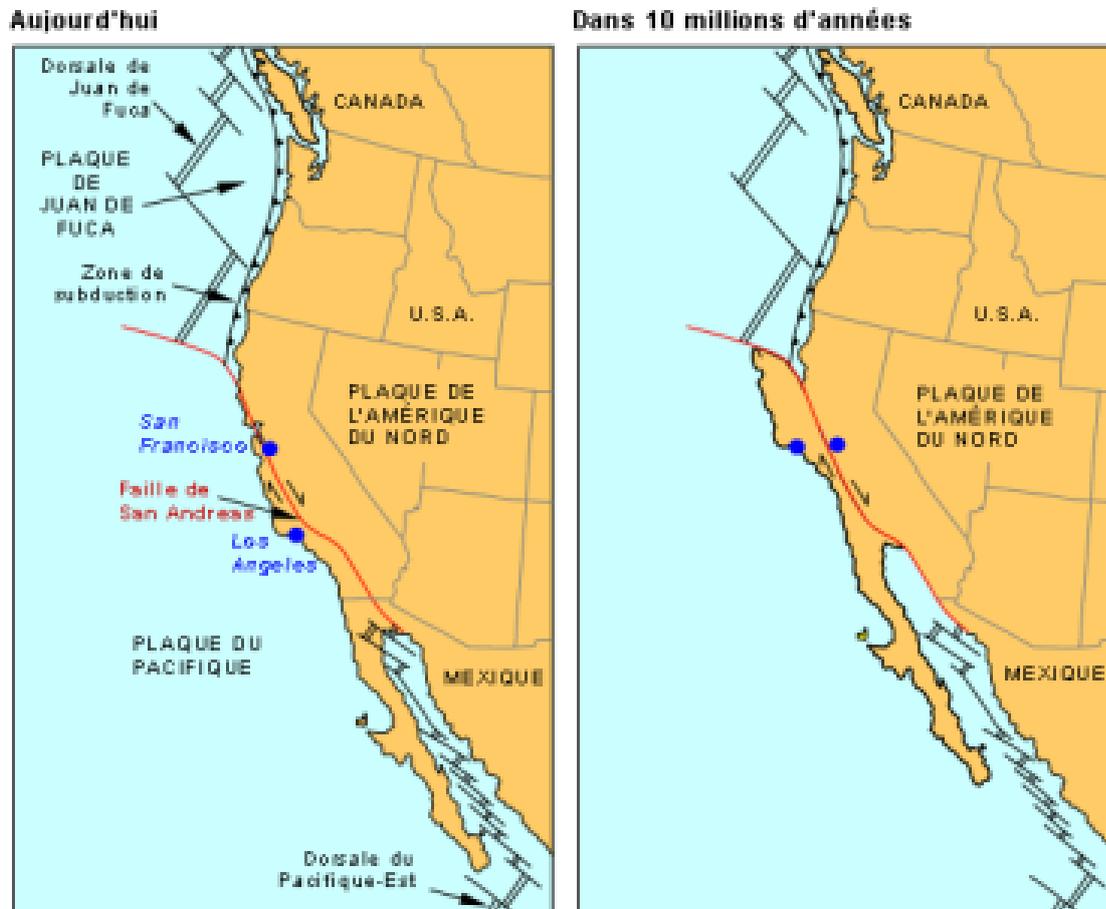


Figure 42. Faille transformante de San Andreas en Californie (Bourque P. A., 2010)

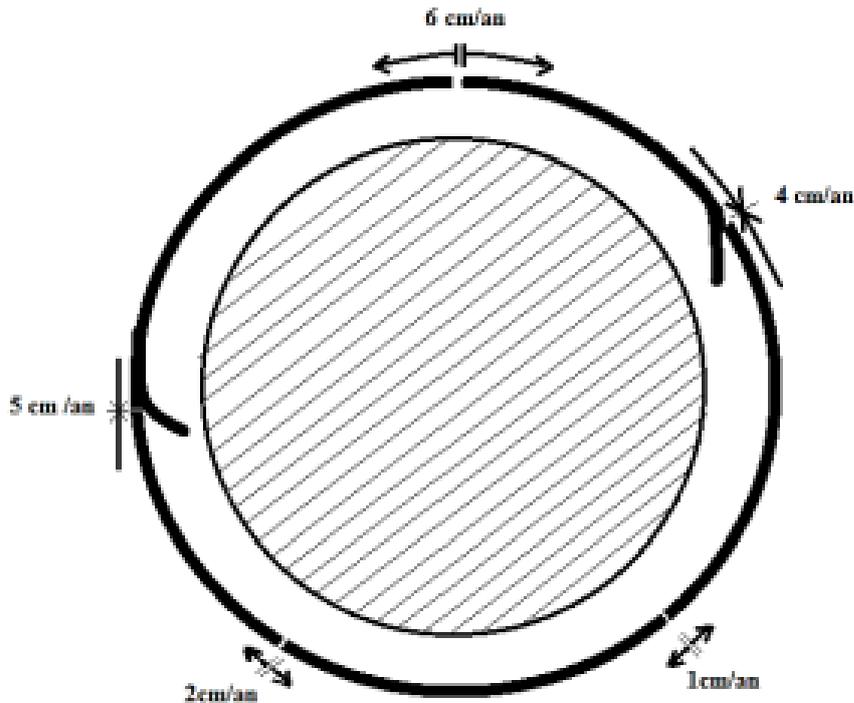


Figure 43. Coupe du globe, passant par son centre et montrant les grandes plaques lithosphériques (en noir) reposant sur l'asthénosphère (en blanc) (Bellair P. et Pomerol C., 1984).

5. Bibliographie

- Allegre, C.J., Poirier, J.P., Humler, E. and Hofmann, A.W. (1995). The Chemical-Composition of the Earth. *Earth and Planetary Science Letters* 134(3-4): 515-526. Consulté sur : <https://earthref.org/ERR/n:520,b:aaaz0000520tab02/>
- Bellair P. et Pomerol Ch., 1984 : *Éléments de géologie*. 8^{ème} édition, Armand Colin-collection.
- Bouchardon J. L., 2005 : Cours en ligne. Consulté sur : <https://www.emse.fr/~bouchardon/>
- Bourque P. A., 2010 : Cours en ligne - Université de Laval (Québec). Consulté sur : http://www2.ggl.ulaval.ca/personnel/bourque/intro.pt/planete_terre.html
- Dubois L., 2018 : *Initiation à la paléontologie et aux fossiles*. Cours consulté sur : <https://www.geopolis.fr/download/fossile-paleontologie-fossiles.pdf>
- Cohen, K.M., Finney, S.C., Gibbard, P.L. and Fan, J.-X., 2013 : The ICS International Chronostratigraphic Chart, *Episodes*, v. 36, no. 3, pp. 199-204. Consulté sur : http://www.stratigraphy.org/ICSchart/Cohen2013_Episodes.pdf
- Emmanuel L., De Rafélis M. et Pasco A., 2007 : *Géologie, Maxi fiche*. Dunod Paris.
- Foucault A. et Raoult J.F., 1984 : *Dictionnaire de géologie*. Edition Masson Paris.
- Lelubre M., 2018 : *ROCHES (Classification) - Roches magmatiques*, *Encyclopædia Universalis*. Consulté sur : <https://www.universalis.fr/encyclopedie/roches-classification-roches-magmatiques/1-composition/>
- Mattauer M., 1980 : *Les déformations des matériaux de l'écorce terrestre*. Hermann Paris.

Maurice S., 2010 : Système solaire. Consulté sur : <http://www.reseau-canope.fr/docsciences/Systeme-solaire.html>.

Pomerol Ch., Lagabrielle Y., Renard M., Guillot S., 2013 : Eléments de géologie. 14 ème édition. Dunod, Paris.

Schneider J. L., 2009 : Les traumatismes de la Terre, géologie des phénomènes naturels extrêmes. Société géologique de France, Vuibert.

Thomas P., 2005 : Structure interne des dépôts de travertins carbonatés. Cours en ligne de l'université de Lyon. Consulté sur : <http://planet-terre.ens-lyon.fr>

Tortosa T. et al, 2013 : Principes de paléontologie. Dunod Paris.

Websites :

<https://www.cnrs.fr>

<https://imgur.com>

<http://www.edu.obs-mip.fr>

<https://edu.obs-mip.fr>

<http://www.etude-volcans.e-monsite.com>

<http://etude-volcans.e-monsite.com/>

<http://www.geoclimat.org>

<http://www.ggl.ulaval.ca>

<http://www.ikonet.com>

<http://www.ird.fr>

<https://www.irsn.fr>

<https://www-ium.univ-brest.fr>

<http://www.planet-terre.ens-lyon.fr>

<http://www.seisme.nc>

<http://sigescen.brgm.fr>

<http://svt4vr.e-monsite.com>

<http://www.tpe-seisme-hb.e-monsite.com>

<http://www.univers-astronomie.fr>

<http://www.univers-astronomie.fr>

<http://www.voaafrique.com>

Biographie



Somia Yousfi épouse Kerzabi, je suis Docteur en Hydrogéologie et Environnement des universités d'Oran-Ahmed Ben Ahmed-Agérie/Besançon-Franche Comté-France, passionnée par les géosciences. J'ai découvert mon admiration à l'enseignement durant mon parcours de Magister (2006), depuis, l'enseignement est devenu un moment d'épanouissement dans un environnement en constante évolution, dont les étudiants représentent une source d'inspiration pour mes futurs projets.