

Les chaînes de montagnes récentes et leur relation avec la tectonique des plaques

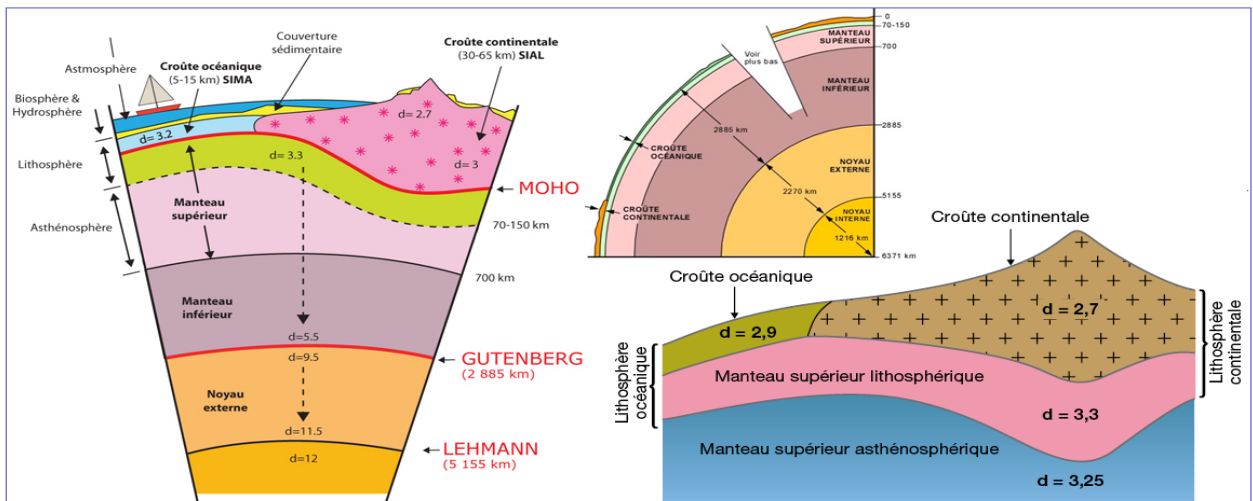


Rappel :

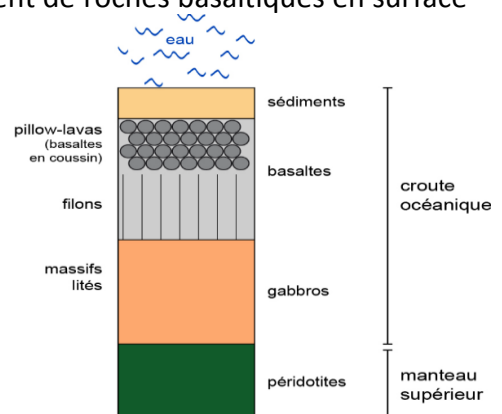
➤ La structure de la terre :

Grâce aux études sismiques, on a pu comprendre la structure interne de la terre (Les différentes couches composant la structure interne du globe ont été mises en évidence par des **discontinuités dans les vitesses des ondes sismiques** (lorsqu'elles traversent les différentes couches). D'une couche à l'autre, les matériaux changent de densité et de composition chimique, ce qui fait varier la vitesse des ondes sismiques).

L'intérieur de **la Terre** est constitué d'une succession de couches de propriétés physiques différentes: on distingue de l'extérieur vers l'intérieur.



- ✓ **La croûte terrestre :** Solides il y a deux types : **croûte continentale** peu épais, surtout formée de roches granitiques. et **croûte océanique** plus mince recouvert par les eaux de mer et des océans elle est formée essentiellement de roches basaltiques en surface et de gabbros plus en profondeur.



- ✓ **Le manteau :** est subdivisé en deux enveloppes :

- **Le manteau supérieur :** Il est composé de péridotites. sa partie supérieure rigide

(Solide) colée à la croûte terrestre pour former **la lithosphère**, et sa partie inférieure ductile (visqueuse) constitue **l'asthénosphère**.

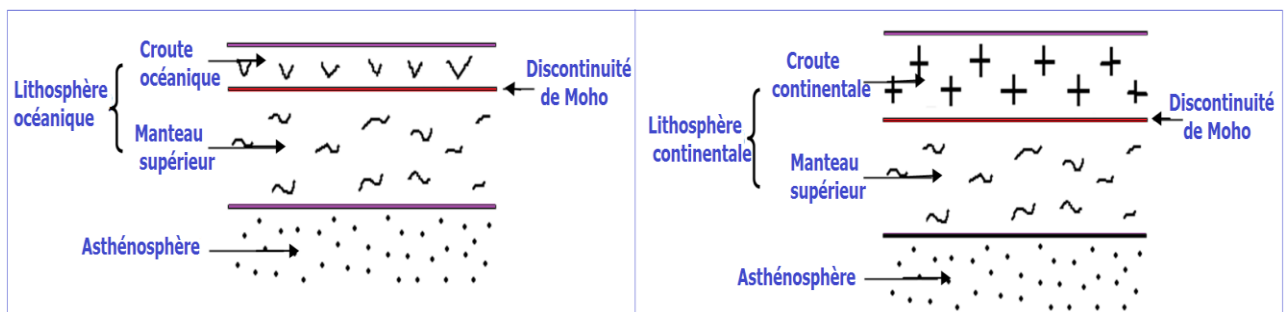
- **Le manteau inférieur** : solide appelé aussi mésosphère.
- ✓ **Le noyau ou noyau externe** : Liquide.
- ✓ **La graine ou noyau interne** : Solide.

Ces enveloppes sont limitées par plusieurs discontinuités :

- ❖ **Discontinuité de Moho (Mohorovicic)** : sépare la croûte du manteau supérieur.
 - ❖ **Discontinuité de Gutenberg** : sépare le manteau inférieur du noyau externe.
 - ❖ **Discontinuité de Lehmann** : sépare le noyau externe du noyau interne.
- **Comparaison entre croûte continentale et croûte océanique :**

| croûte continentale | croûte océanique |
|--|--|
| formée essentiellement de roches granitiques | formée essentiellement de roches basaltiques et de gabbros |
| Peu épais (30 Km) | Plus mince (7 Km) |
| Moins dense (d = 2,7) | Plus dense (d = 3,3) |
| Riche en silice (SiO ₂) | Pauvre en silice |
| Pauvre en minéraux ferromagnésiens | Riche en minéraux ferromagnésiens |

On peut distinguer entre **la lithosphère continentale** qui est constituée de la croûte continentale et une partie du manteau supérieur, et **la lithosphère océanique** qui est constituée de la croûte océanique et une partie du manteau supérieur.

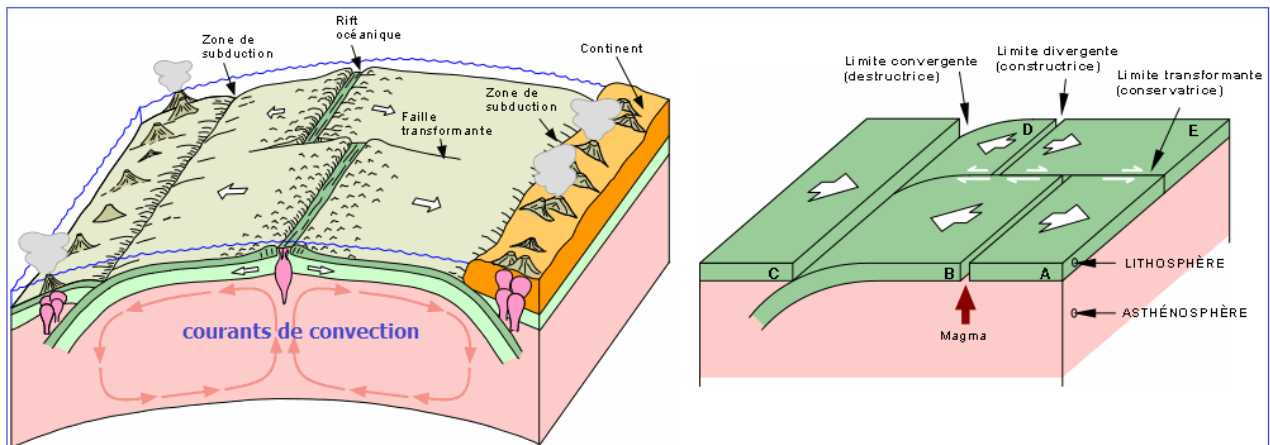


➤ **Tectonique des plaques.**

Une plaque tectonique (ou plaque lithosphérique) est un fragment de la lithosphère, **rigide**, à des **limites actives** (activité sismique et volcanique) qui flotte (repose) sur une couche ductile (asthénosphère) et **en mouvement** les unes par rapport aux autres. Elle peut être de nature océanique ou mixte (océano-continentale).

Ce mobilisme lithosphérique est l'expression des mouvements de convection provenant principalement de la désintégration des éléments radioactifs du manteau.

➤ Limites des plaques lithosphériques.



Les frontières des plaques sont de trois types :

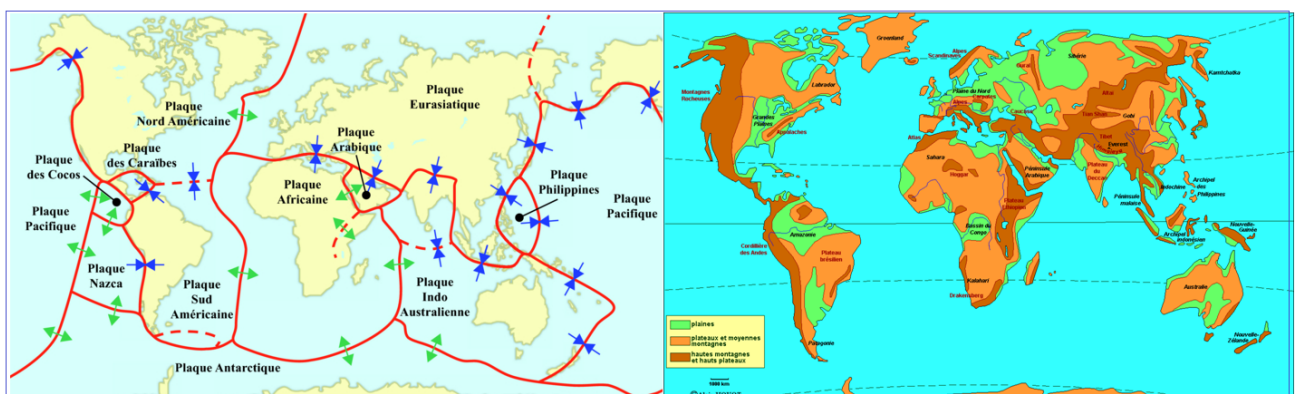
***Limites de divergence : (Les plaques s'éloignent)** sont représentées par des rifts qui se trouvent dans les dorsales océaniques qui donnent naissance d'une nouvelle croûte océanique les plaques s'écartent. Il y a ouverture des océans qui s'agrandissent sous l'effet des forces extensives. (Accrétion océanique) c'est **l'expansion des océans**. C'est l'expansion des océans qui fait bouger les continents.

NB : La surface de la Terre étant constante, lorsque de la nouvelle lithosphère se forme, il faut que l'ancienne disparaisse.

***Limites de convergence : (Les plaques se rapprochent)** S'observent au niveau des zones de subduction, d'obduction et de collision et entraînent la disparition de la lithosphère ancienne (fermeture d'océan) suivi d'orogénèse (de formation des chaînes de montagnes).

***Frontière de coulissage :** S'observe au niveau des dorsales océaniques entrecoupées de failles perpendiculaires à son axe ; ce sont des failles transformantes.

I – Relation entre les chaînes de montagnes et les frontières des plaques.



D'après les deux figures ci-dessus, les chaînes des montagnes coïncident avec les frontières de convergence.

*il y a des chaînes orientées nord-sud, correspondent aux zones de subduction.

*il y a des chaînes orientées est-ouest, correspondent aux zones de collision.

Conclusion :

Il y a 3 types de chaînes de montagnes selon le phénomène intervenant dans leur formation : chaînes de subduction, chaîne d'obduction et chaîne de collision.

II – des chaînes de subduction

1-Définition de la subduction.

La subduction est l'enfouissement d'une plaque océanique dense (plaque plongeante ou subduite) sous une autre plaque (continentale ou océanique) de densité plus faible dite chevauchante.

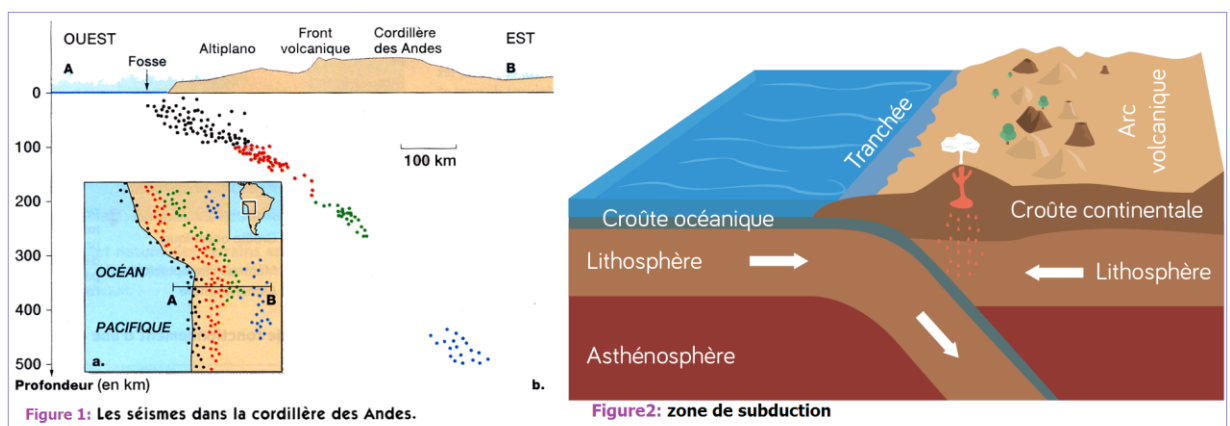
Les zones de subduction sont des zones de convergence lithosphérique, il en existe deux grands types :

- les subductions entre deux plaques océaniques ou **subduction intra-océanique**.
- les subductions entre une plaque continentale et une plaque océanique, ou **subduction sous une marge continentale**.

2- Les caractéristiques des zones de subduction.

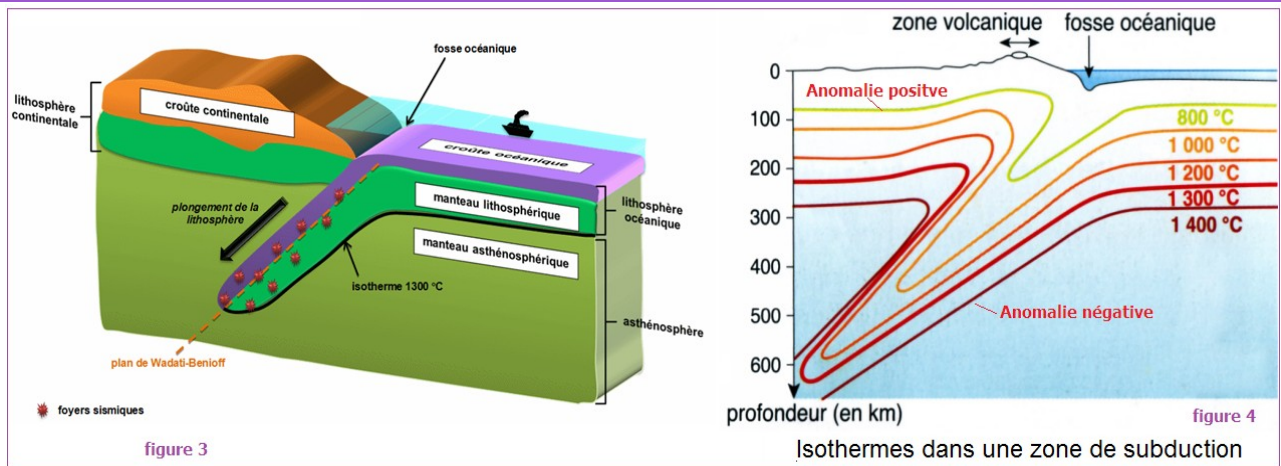
❖ **Activité 1** : Les figures 3 et 4 présentent les caractéristiques topologiques (relief) et , (sismiques et thermiques)

1 – D'après les figures 1 et 2 **précisez** les caractéristiques topographiques de la chaîne des Andes situées sur la marge ouest de la plaque sud américaine.



2 – En exploitant la figure 3, **Décrivez** la répartition des foyers sismiques sous la chaîne des Andes puis **donnez** une interprétation à cette répartition.

3 – En exploitant la figure 4, **Décrivez** la forme des isothermes sous la chaîne des Andes et montrez que cette région présente une anomalie thermique négative.



Réponse :

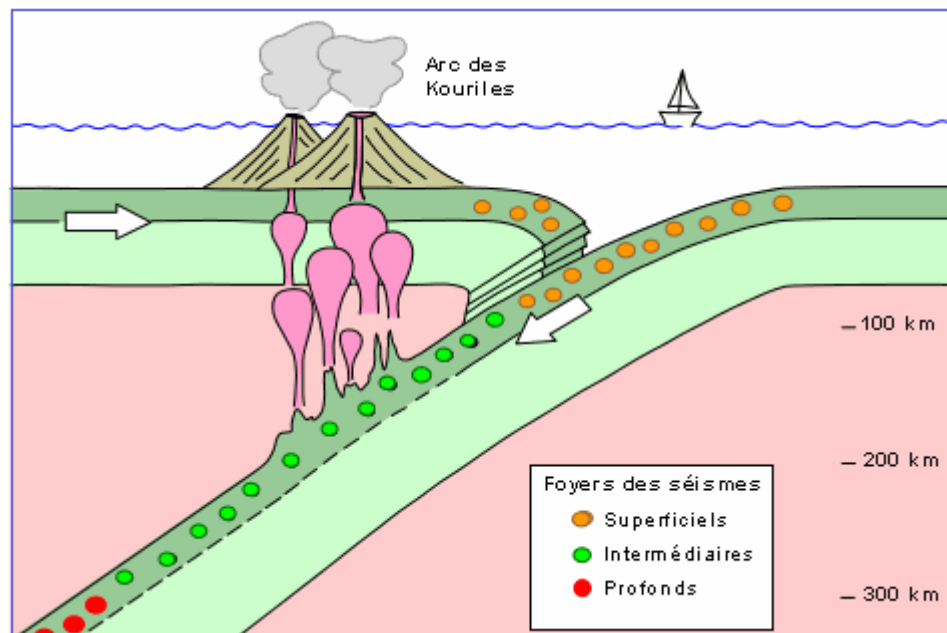
1 – La carte géologique de la figure 1 montre la présence d'une **marge active** caractérisée à la fois par la présence d'une **chaîne de montagne** sur le continent parallèle à la marge active le long de la côte ouest de l'Amérique et d'une **fosse océanique** profonde au niveau de l'océan. La coupe géologique schématisée de la figure 2, montre :

- *un épaississement de la plaque chevauchante (racine crustale (discontinuité de Moho) d'une profondeur d'environ 60Km.
- *des volcans explosifs appelés **volcans andésitiques**.
- *augmentation de la profondeur de discontinuité de Moho.

2 – On appelle **foyer séismique** ou **hypocentre** le point de naissance du séisme en profondeur.

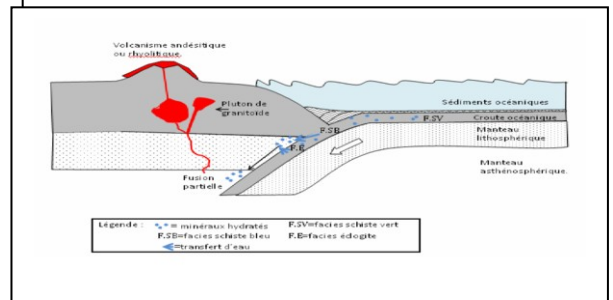
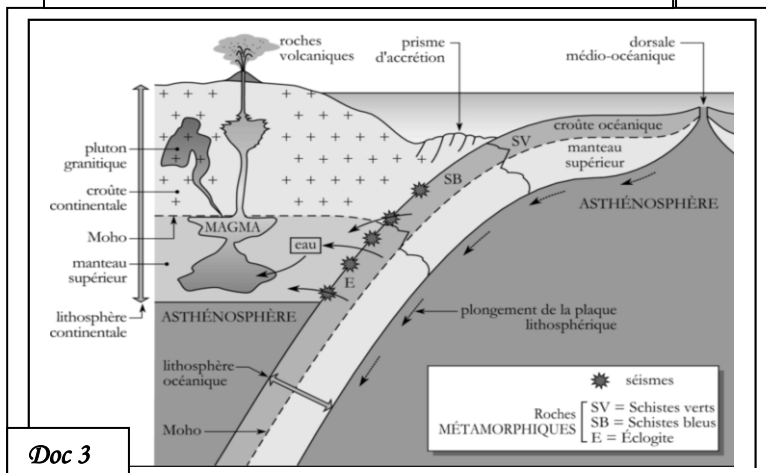
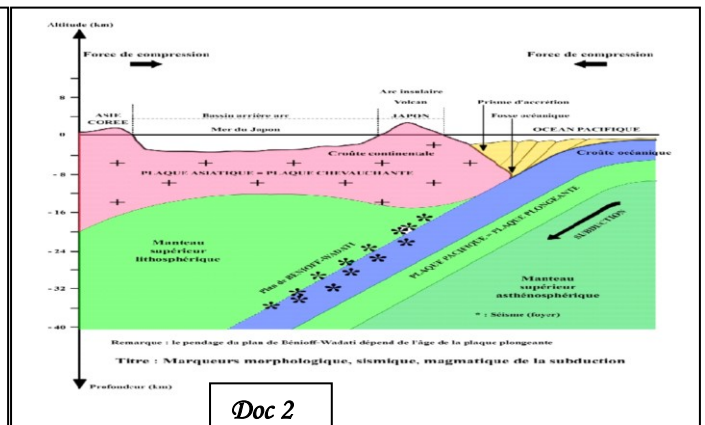
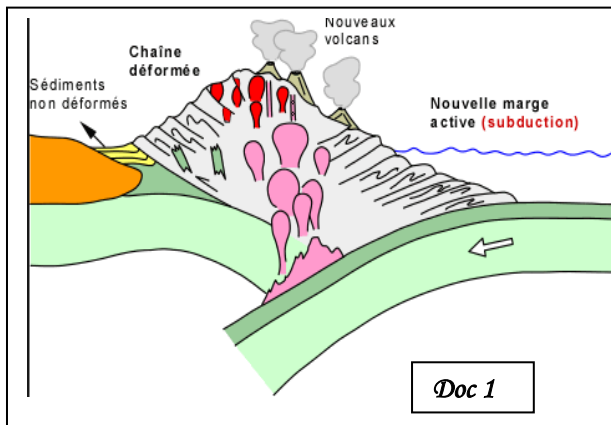
Plus on s'éloigne de la fosse océanique vers la plaque chevauchante (continent américain) plus les hypocentres deviennent profonds, ainsi ils sont répartis selon un plan incliné appelé **plan de Bénihoff**.

On interprète cette répartition par le passage et le frottement entre la lithosphère océanique dense (plaque Nazca) et la lithosphère continentale légère (plaque sud-américaine).



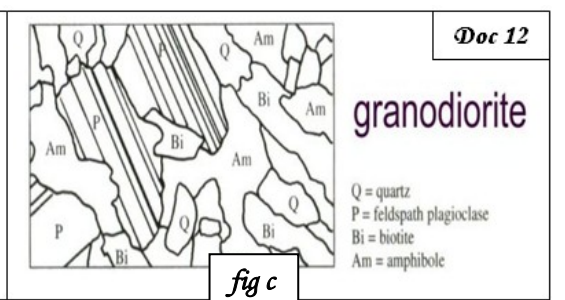
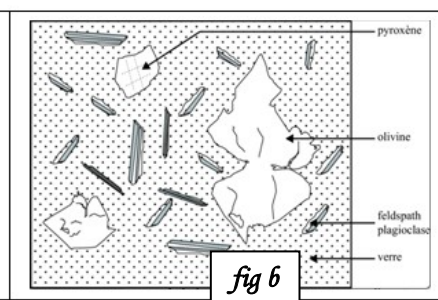
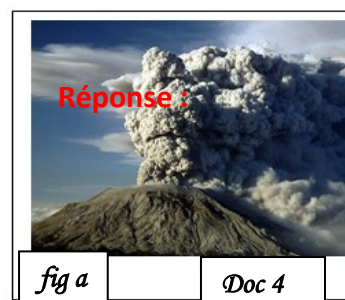
3 – Au niveau des zones de subduction, on observe que les isothermes sont incurvées en profondeur selon le plan de Bénéioff, ce que représente une anomalie thermique négative témoignant d'une zone de subduction.

❖ **Activité 2** : Les documents 1 et 2 représentent des coupes géologiques schématiques réalisées à la fois au niveau de la fosse océanique et aussi au niveau de la chaîne de montagne.



- 1 – **Dégagez** les principales caractéristiques de la chaîne de subduction.
- 2 – **Localisez** l'emplacement du prisme d'accrétion et **expliquez** sa formation.
- 3 – d'après l'exploitation des deux documents, **précisez** l'activité magmatique caractéristique de cette de montagne, **donnez** le nom des deux roches produites par cette activité, et **précisez** leur structure en exploitant le document 3.

NB : On appelle **texture** ou **structure** l'assemblage géométrique des minéraux tel qu'on peut les déceler à l'œil nue, à la loupe et au microscope.



Doc 12

granodiorite

Q = quartz
P = feldspath plagioclase
Bi = biotite
Am = amphibole

1 – La coupe géologique du document 1 montre que la chaîne de montagne est constituée par des couches géologiques déformées, ainsi on observe la présence de plusieurs plis et failles.

2 – Au niveau de la fosse océanique, on observe une accumulation de sédiments marins et continentaux écaillés et tectonisés (plis et failles) appelés **prisme d'accrétion**. Quand la lithosphère océanique plonge sous la continentale, les sédiments qui la couvrent sont arrachés et accumulés au niveau de la fosse océanique formant ainsi le prisme d'accrétion.

3 – Les zones de subduction se caractérisent par une forte activité magmatique avec un volcanisme explosif (fig a du doc 4), donnant naissance à deux types de roches magmatiques :

- **L'andésite** est une roche volcanique provient du refroidissement rapide du magma en surface. Elle est formée essentiellement par des microlites (petits minéraux) et une pâte vitreuse. A une texture microlitique. (voir fig b du doc 4).
- **La granodiorite (ou granitoïde)** est une roche plutonique à structure grenue. Elle résulte d'une cristallisation lente du magma en profondeur. (voir fig c du doc 4).

Conclusion : Les caractéristiques de la zone de subduction :

***Topographiques :** Coexistence d'une fosse océanique profonde et reliefs de grande altitude (anomalie topographique).

***Géothermiques :** Une anomalie thermique négative due à l'enfouissement du plancher océanique froid dans l'asthénosphère plus chaude (isothermes au lieu d'être horizontaux sont incurvés selon le plan de Bénioff).

***Géophysiques :** Une sismicité importante dont les se répartissent en profondeur selon un plan oblique appelé plan de Bénioff.

***Volcaniques :** Volcanisme explosif (magma visqueux et riche en gaz) de type andésitique.

***Pétrographique :**

- ✓ **Andésite :** Roche magmatique de type volcanique de structure microlitique (phénocristaux, microlites et pâte vitreuse amorphe).
- ✓ **Plutons :** Roche magmatique de type plutonique de structure grenue (entièrement cristallisée).
- ✓ **Prisme d'accrétion :** accumulation de sédiments marins et continentaux écaillés et tectonisés (plis et failles) au niveau de la fosse océanique.

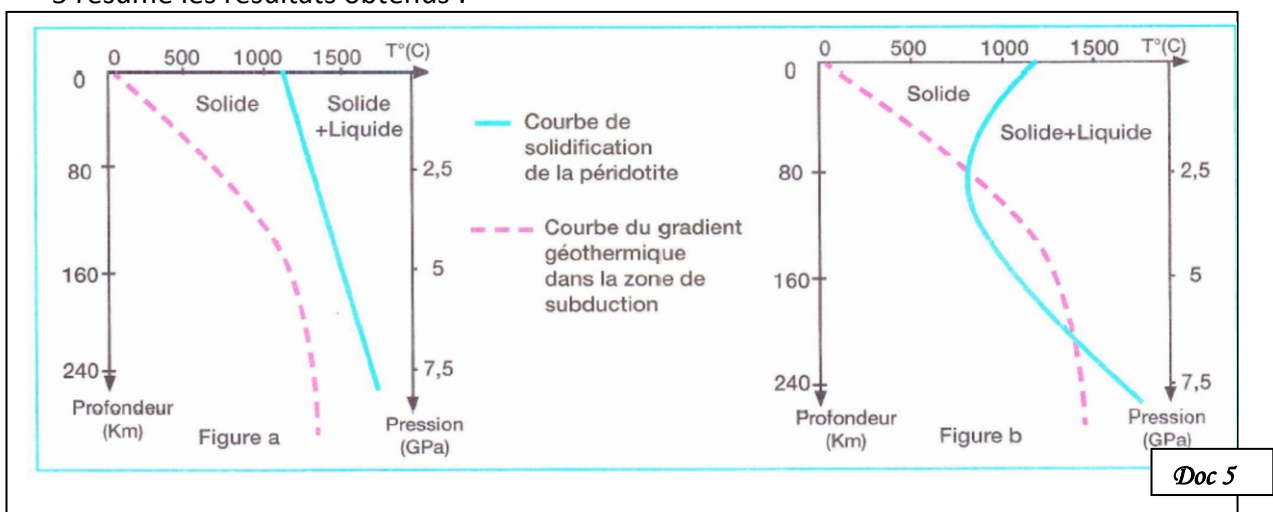
***Structurale tectonique :** plissement et cisaillement (failles normales et inverses) des roches de la croûte continentale.

3) origine du magma andésitique.

Afin de déterminer l'origine du magma de zone de subduction, on exploite les données suivantes :

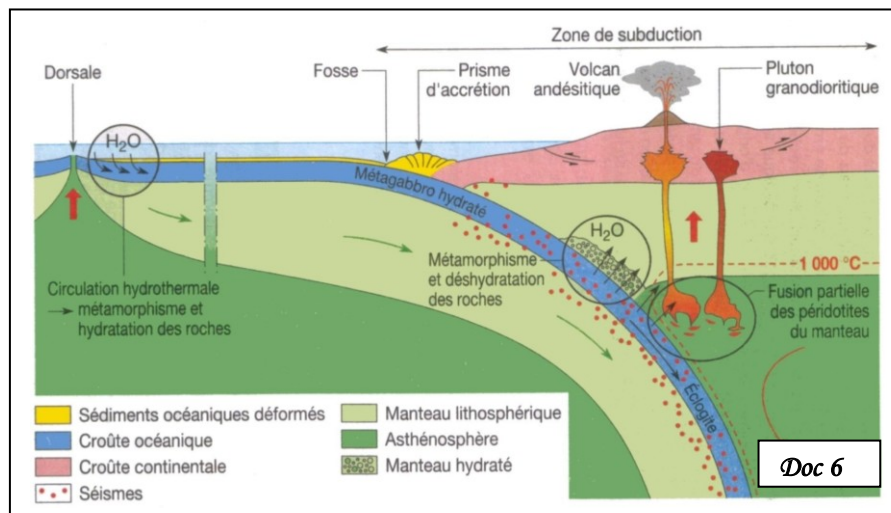
Des études géologiques ont montré que le magma provient de **la fusion partielle** de la péridotite du manteau lithosphérique de la lithosphère chevauchante.

On a soumis cette roche (péridotite) expérimentalement à des conditions variables de pression et de température soit en absence d'eau péridotite anhydre (fig a du document 5) ou en présence d'eau péridotite hydraté (fig b du document 5), et dans chaque condition, on enregistre l'état physique de la péridotite (solide ou solide + liquide). Le graphe du document 5 résume les résultats obtenus :



1 – **Comparez** les résultats de la fusion expérimentale de la péridotite dans les deux états secs (anhydres) et hydraté. **Que peut-on conclure ?**

2 – En exploitant le schéma du document 6, **expliquez** comment s'est formé le magma caractéristique des zones de subduction.



3 – En utilisant toutes les informations précédentes, **rédigez** un texte qui illustre le lien entre la tectonique des plaques et la formation des chaînes de subduction.

Réponse :

1 – D’après la figure a du document 5, on observe qu’en l’absence d’eau la courbe du gradient géothermique de la zone de subduction ne coupe pas la courbe de fusion partielle de la péridotite, donc il y a pas de fusion de péridotite.

D’après la figure b du document 5, on constate qu’en présence de l’eau les deux courbes se croisent ce qui facilite la fusion partielle de la péridotite du fait de l’abaissement du point du début de fusion de la péridotite.

On peut conclure que le facteur responsable de la fusion partielle de la péridotite est l’addition de l’eau.

2 – Au cours de la subduction, les roches de la lithosphère océanique plongeante vont subir une élévation importante de pression et augmentation modérée de la température ce qui entraîne la transformation du basalte et du gabbro en éclogite avec libération de l’eau sous forme de vapeur qui diffuse à travers le manteau et hydrate la péridotite. Ceci facilite la fusion partielle de la péridotite au niveau de la plaque chevauchante, avec formation du magma caractéristique des zones de subduction.

3 - Au cours de la subduction, la lithosphère océanique plongeante exerce une forte pression et une température modérée (HP et BT) sur la lithosphère chevauchante ce qui entraîne des déformations tectoniques (plis et failles) avec une augmentation de l’épaisseur de la croûte terrestre et une surélévation du relief ce qui donne naissance aux chaînes de subduction.

II – Les chaînes d’obduction.

1) Définition d’obduction.

L’obduction : chevauchement (recouvrement) d’une plaque continentale (moins dense) par une plaque océanique (plus dense) lors de leur affrontement. Ce phénomène entraîne la formation de chaînes montagneuses appelées chaînes d’obduction.

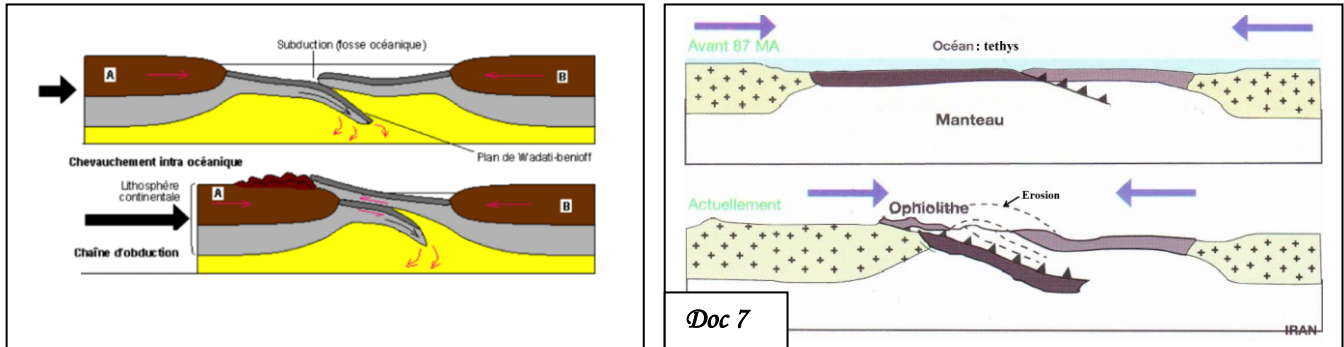
Ce phénomène est la conséquence du :

*blocage de la subduction, dû à un arc volcanique présent sur la croûte océanique normalement subduite. L’arc volcanique en question empêche le plongement de la croûte océanique dans le manteau.

*évolution d’une subduction intra-océanique.

2) Caractéristiques des zones d'obduction.

En exploitant les coupes du document 7, **précisez** les caractéristiques des zones d'obduction.



*Présence du complexe ophiolitique (péridotite, gabbro, basalte en filons, basalte en coussins et roches sédimentaires océanique) sur de vastes étendues continentales.

*Présence des sédiments marins (radiolarite) et continentaux écaillés et tectonisés en amont du complexe ophiolitique.

*Structures tectoniques : présence de plis et de failles inverses, chevauchement et nappes de charriage.

Nappes de charriage : ensemble de couches géologiques qui, lors de l'orogénèse, se sont déplacées par dessus d'autres couches sur de grandes distances.

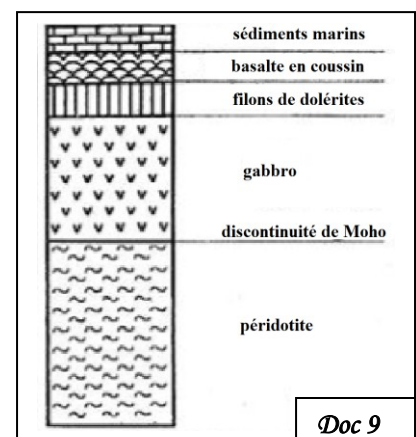
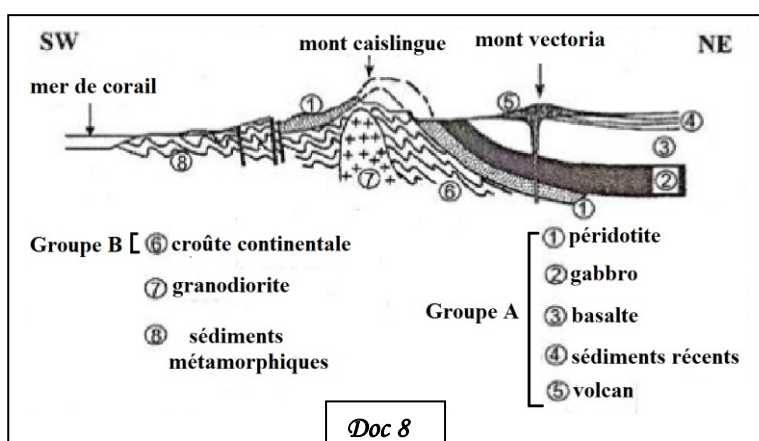
*Fermeture d'un ancien océan. (Fermeture du domaine marin).

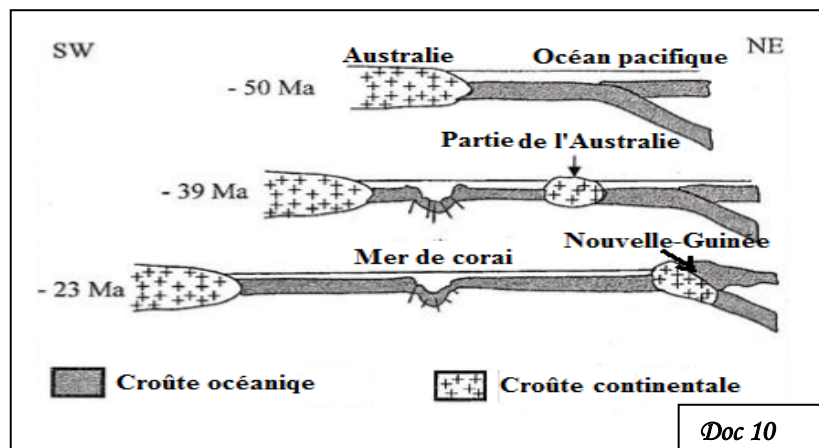
3) Formation de chaîne d'obduction.

La chaîne de montagne de Nouvelle-Guinée qui se trouve à l'océan pacifique est un exemple caractéristique des chaînes d'obduction.

Le document 8 présente une coupe géologique effectuée sur l'Est d'île du nouvelle- guinée et le document 8 présente une coupe longitudinale de la lithosphère océanique.

Pour expliquer les étapes de la formation de la chaîne de montagne du Nouvelle-Guinée, le géologue **Auboin** a proposé le modèle présenté sur le document 9.





1 – **Comparez** la composition pétrographique du groupe A et du groupe B, puis montrez que la chaîne représentée dans la coupe du document 8 appartient aux chaînes d’obduction.

2 – En exploitant les données du document 10, **reconstituez** l’histoire géologique de la chaîne de montagne du Nouvelle-Guinée. Australie.

Réponse :

1 – **Comparaison :**

On remarque une ressemblance entre les roches du groupe A et celle de la lithosphère océanique (le complexe ophiolitique représenté sur le document 9).

***déduction :**

Le chevauchement de la croûte continentale (groupe B) par les roches du groupe A (la lithosphère océanique) indique l’obduction de la lithosphère océanique sur la lithosphère continentale : la chaîne étudiée est une chaîne d’obduction.

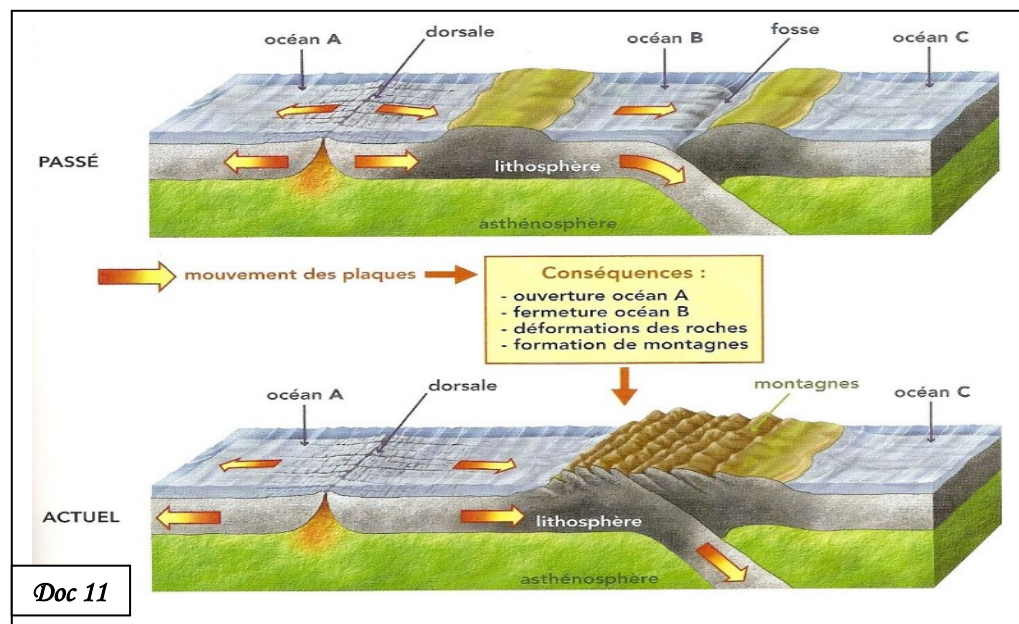
2 – Les étapes de la formation de la chaîne de montagne du Nouvelle-Guinée. Australie.

- ✓ Avant 50MA subduction intra-océanique.
- ✓ Avant 39MA séparation d’une partie de l’Australie et formation d’un domaine océanique (Mer du Coraï) avec continuation (poursuite) de la subduction intra-océanique.
- ✓ Une partie de la lithosphère océanique chevauche la partie continentale séparée de l’Australie sous forme de nappes de charriages, donnant naissance à la chaîne de montagne du Nouvelle-Guinée.

III – Les chaînes de collision.

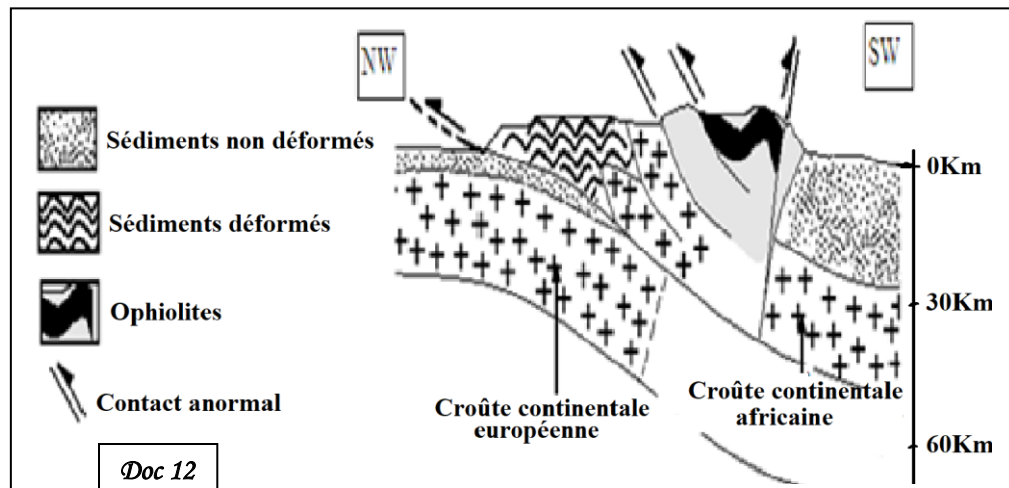
1) Définition de collision.

La collision : l'affrontement de deux blocs continentaux après la fermeture d'un ancien océan sous l'effet des contraintes compressives. (Voir document 11)



2) Caractéristiques de la collision.

En exploitant les coupes du document 11, **précisez** les caractéristiques des zones de collision.



Parmi les caractéristiques de la collision, on cite :

*La présence des unités tectoniques déformées : plis, failles normales et inverses, chevauchements et nappes de charriages indiquant la poursuite de la compression entre les deux plaques continentales confrontées.

*Reliefs élevés et racine crustale profonde (discontinuité de Moho peut dépasser 60Km de profondeur).

*La présence de l'andésite et de plutons de granodiorites indiquant une subduction ancienne précédant la collision.

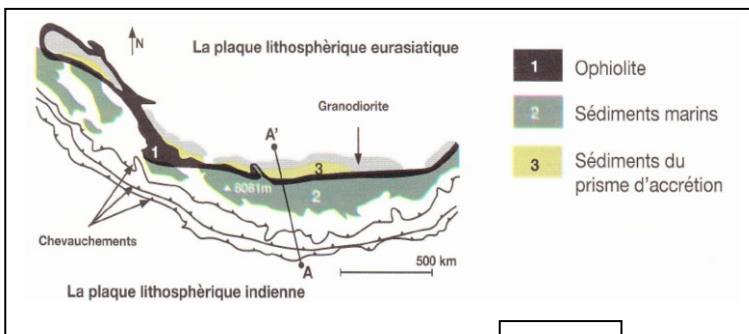
*La présence de l'ophiolite sous forme de suture entre les deux blocs continentaux confrontés.

*chevauchement des sédiments anciens déformés sur des sédiments récents non déformés.

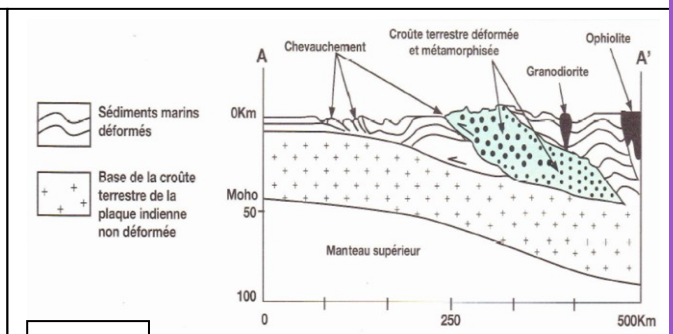
Exercice :

Pour mettre en évidence la relation entre les phénomènes géologiques accompagnant la formation des chaînes de montagnes et la tectonique des plaques, on propose les données suivantes.

La plaque indienne a commencé à se déplacer vers la plaque eurasiatique, il y a environ 120 à 130 millions d'années. Il a résulté de la collision du continent indien et du continent eurasiatique la formation de la chaîne de l'Himalaya. Le document 13 représente une carte géologique simplifiée de cette chaîne, et le document 14 représente une coupe géologique selon l'axe AA'.



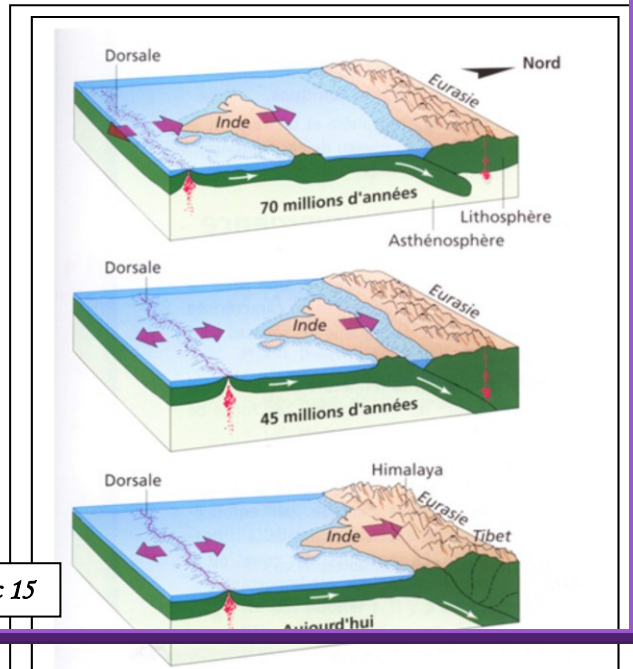
Doc 13



Doc 14

1 – En se basant sur les données des documents 13 et 14, **montrez** que la chaîne de montagne de l'Himalaya est une chaîne de collision.

Pour expliquer les étapes de la formation de la chaîne de montagne l'Himalaya, les géologues ont proposé le modèle présenté sur le document 15.



Doc 15

2 – En vous aidant du schéma du document 15, citer les étapes de la genèse de la chaîne de montagne l'Himalaya.

Réponse :

1 – D'après les données des documents 13 et 14 on observe :

*La présence d'ophiolites et des sédiments marins témoignant de la fermeture d'un ancien océan.

*Apparition de chevauchements dus au glissement de la plaque indienne sous la plaque eurasiatique sous l'action de forces compressives, plis et des failles.

*La présence de granodiorites cela montre que la région a connue une subduction.

* chevauchement des sédiments marins déformés sur la croûte terrestre de la plaque indienne non déformée.

*La présence d'une racine crustale épaisse dépassant 70Km de profondeur en direction A' (document 14).

2 – Les étapes de la formation de la chaîne de l'Himalaya :

Glissement du continent indien vers le continent eurasiatique, accompagné par l'enfouissement de la croûte océanique sous la croûte continentale (subduction) et formation de granodiorite.

Fermeture de l'ancien océan Tethys.

Obduction et affleurement de l'ophiolite.

Collision des deux croûtes continentales entraînant des déformations ainsi des chevauchements qui provoquent la surélévation de compartiments rocheux à l'origine des montagnes de l'Himalaya.

Conclusion :

On distingue 3 types de chaînes de montagne récentes localisés essentiellement au niveau des zones de convergences lieu de développement des forces compressives.

Les déformations tectoniques accompagnant la formation des chaînes de montagnes

Lors de la formation des chaînes de Montagnes, les matériaux rocheux de l'écorce terrestre subissent différents types de déformations dus à des contraintes : des forces tectoniques compressives ou, au contraire, des forces extensives.

*Quels sont les types de déformations tectoniques qui accompagnent la formation des chaînes de montagnes ?

*Comment l'étude de ces formations permet-elle de reconstituer les forces qui en sont responsables ?

I – Les types de déformations tectoniques.

On distingue deux types de déformations tectoniques :

- **Les déformations tectoniques continues** ou souples (ductiles = comportement plastique) représentées par **les plis**.
- **Les déformations tectoniques discontinues** ou cassantes représentées par **des failles**.

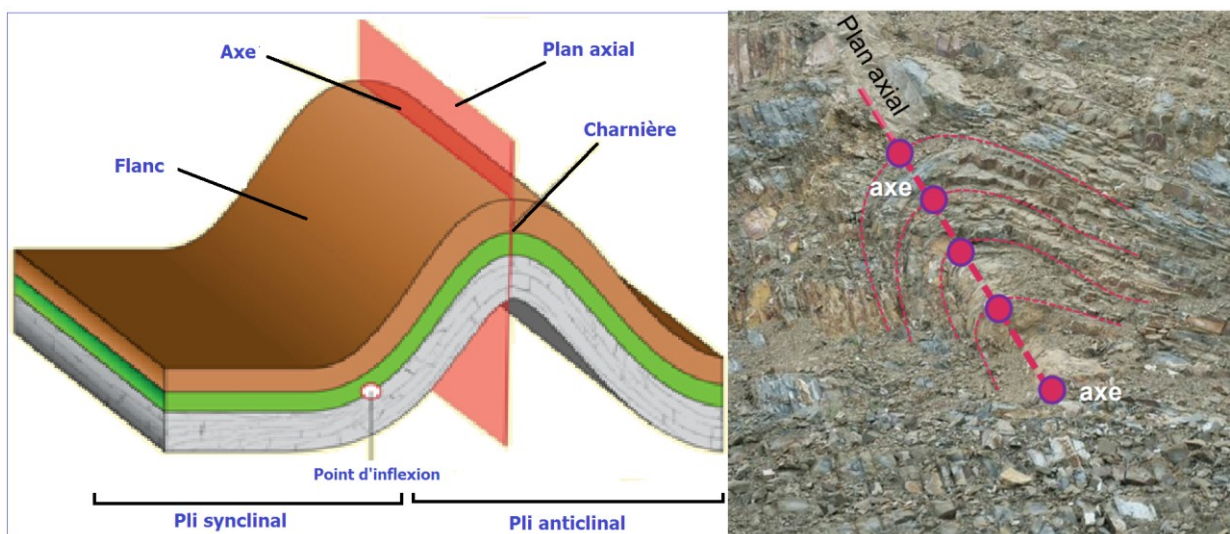
1) Les déformations continues.

Les plis sont des déformations continues et souples (ductile) des roches sous l'effet de contraintes de compression.

Pour décrire les plis, on utilise les termes **d'anticlinal** quand le pli se ferme vers le haut (les couches anciennes se trouvent au cœur du pli) et de **synclinal** lorsqu'il se ferme vers le bas (les couches récentes se trouvent au cœur du pli).

a - Constituants du pli.

Les plis anticlinaux et les plis synclinaux ont les mêmes éléments:

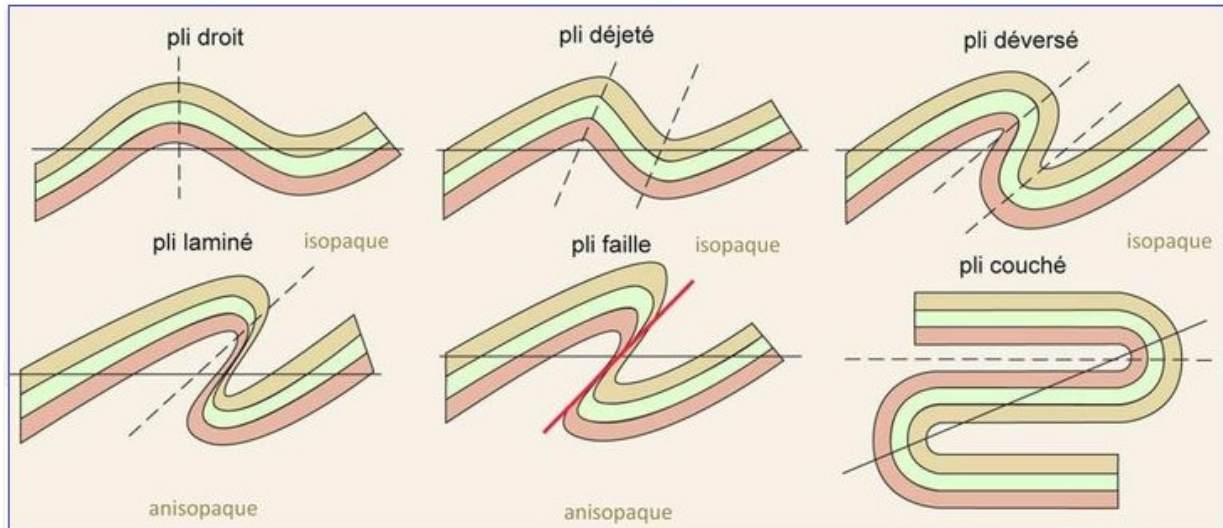


*La charnière ou **axe du pli** : la région où la Est maximale.

*Le **plan axial** ou la **surface axiale**: la ligne qui joint les axes (ou la charnière) de chaque couche plissée.

b – Les types de plis.

On distingue selon la position de l'axe du pli et le pendage, plusieurs types :



***Pli droit** : Plan axial droit et les flancs sont symétriques.

***Pli couché** : Le plan axial est horizontal, l'un des flancs est normal et l'autre inverse.

***Pli déjeté** : Le plan axial incliné et les flancs sont asymétriques.

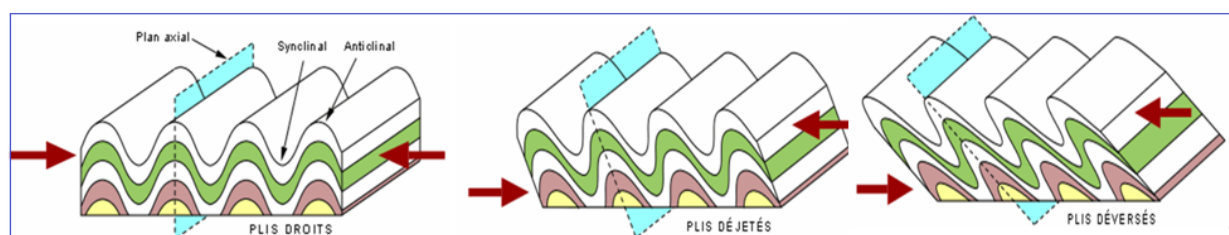
***Pli déversé** : Le plan axial est incliné, l'un des flancs est normal et l'autre inverse.

***Pli genou** : Le plan axial est incliné, l'un des flancs est incliné l'autre est vertical.

NB :

Les plis sont des déformations souples résultant des contraintes compressives, la variation de la tension des contraintes et leur direction donnent ces types de plis. Les plis droits

résultent de contraintes de compression coaxiales, les plis déjetés et déversés de contraintes qui ne sont pas coaxiales. Voir document 3

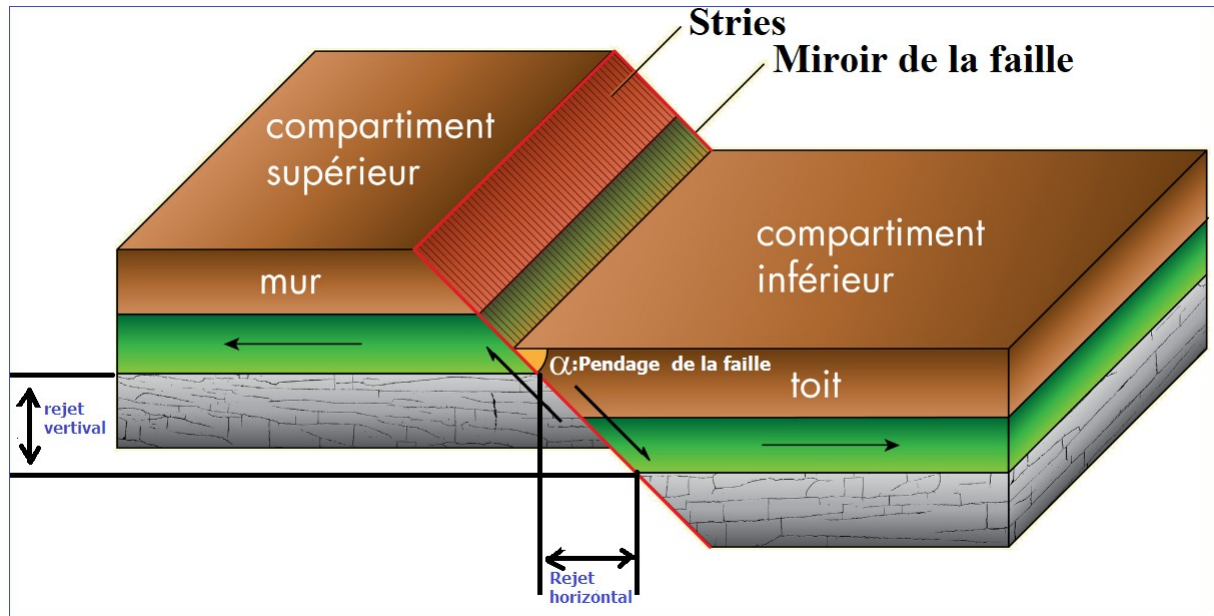


2) Les déformations discontinues.

Les déformations discontinues ou cassantes sont représentées par des failles.

Une faille est une cassure de la croûte terrestre qui s'accompagne d'un déplacement des deux compartiments ainsi créés. Les failles peuvent traduire indifféremment une tectonique compressive ou une tectonique extensive.

a - Structure de faille.

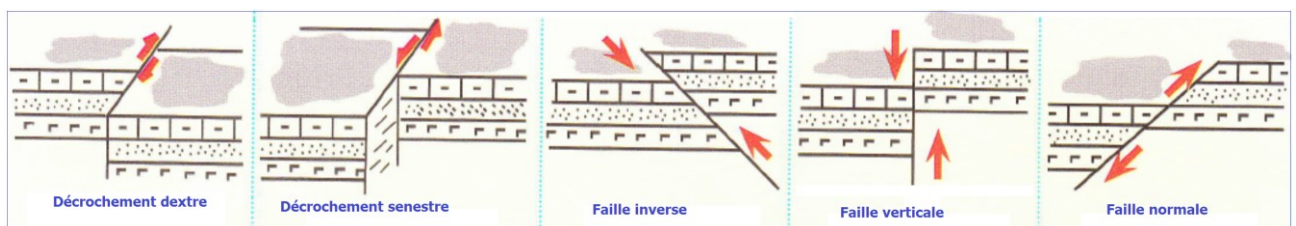


*On nomme toit le compartiment qui se situe au-dessus du plan de faille, et mur celui qui est au-dessous.

*Le rejet est le déplacement net des deux compartiments.

b – Types des failles.

On détermine les types de failles selon le rejet de la faille qui l'ont provoqué et la succession chronologique des couches rocheuses au niveau du plan de la faille, on distingue les failles suivantes :



- **Faille normale** : Plan de la faille incliné, avec un rejet horizontal et verticale, la succession chronologique des couches rocheuses reste normale au niveau du plan de la faille, cela du à un écartement des deux compartiments traduit par des forces extensives. Le toit descend par rapport au mur.
- **Faille inverse** : c'une faille à un plan incliné, avec un rejet vertical et horizontal et la succession chronologique des couches rocheuses s'inverse au niveau du plan de la

faille (les couches anciennes couvrent les couches plus récentes), cela du à un rapprochement des deux blocs traduit par des contraintes de compressions. Le toit monte par rapport au mur

- **Faille verticale** : Le plan de faille est vertical, avec absence de rejet horizontal.
- **Faille transformante ou de décrochement** : faille à rejet horizontal, correspond à un coulisage des deux blocs du à des forces latérales de directions opposées. On la retrouve en régimes compressifs ou extensifs.

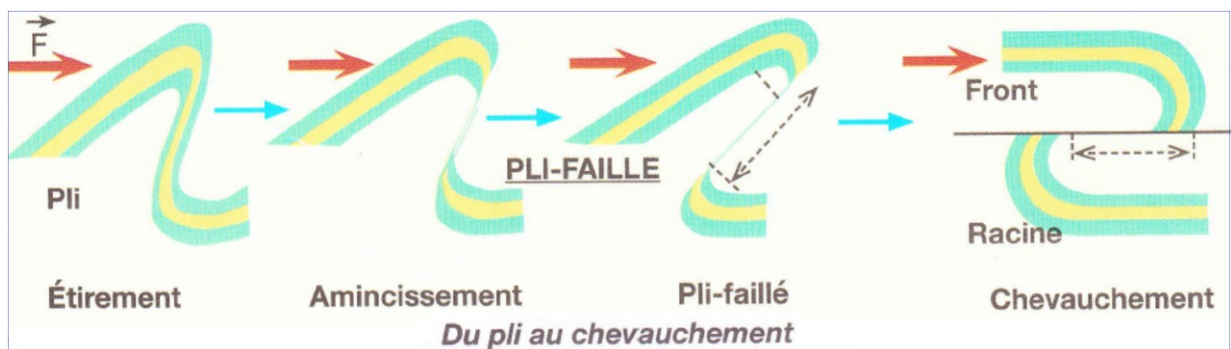
Conclusion :

Les déformations tectoniques sont dues au mouvement des plaques lithosphériques et par suite elles dépendent du sens et de l'intensité des mouvements de ces plaques.

*Les failles normales sont dues à des forces de distension au niveau des zones de divergences des plaques comme les dorsales océaniques.

*les plis et les failles inverses sont dus à des contraintes de compressions qui caractérisent les zones de convergences entre les plaques comme les zones de subduction.

*En fonction des mouvements des plaques lithosphériques, les déformations tectoniques évoluent ainsi ; un pli peut évoluer en pli-faille puis en chevauchement parfois en nappe de charriage.



Le métamorphisme et sa relation avec la tectonique des plaques

Introduction :

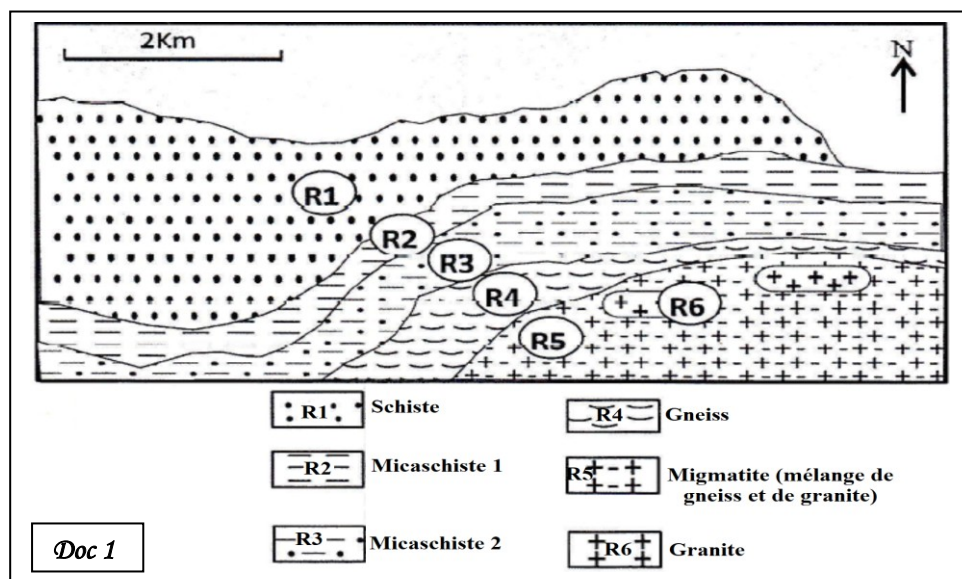
Au niveau des chaînes de montagne, la plupart des roches changent de structure et de propriétés, elles deviennent des roches métamorphiques issues de la variation des conditions de pression et de température.

- Quelles sont les propriétés de ces roches ?
- Quel est le lien entre la formation de ces roches et la tectonique des plaques ?

I – Caractéristiques structurales et minéralogiques des roches métamorphiques.

1) Les données cartographiques.

Le document 1 présente une carte géologique de la région montagneuse Arize en France, qui montre un affleurement des roches métamorphiques. D'autres études ont montré que ces roches sont issues des roches sédimentaires (Argiles).



Commentaire :

La carte géologique de cette région montre :




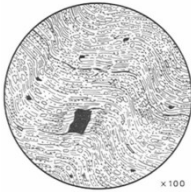
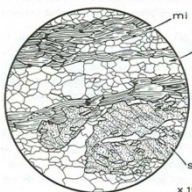
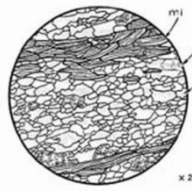
- * Les affleurements des roches métamorphiques : schistes, micaschiste et gneiss se trouvent dans une zone montagneuse.
- * Ces 3 roches métamorphiques sont issues des roches sédimentaires (Argile).
- * Ces 3 roches métamorphiques sont des roches stratifiées (en couches ou strates).
- * Les strates de ces roches métamorphiques ont une disposition oblique et présentent des failles.

Les caractéristiques cartographiques de Ces 3 roches métamorphiques laissent penser que leurs origines sont des roches sédimentaires (stratification) qui ont subi des transformations liées à des déformations tectoniques au cours de la formation des hautes montagnes.

2) Etude des roches métamorphiques des zones de collision.

Parmi les roches caractéristiques des zones de collision, on cite : le schiste, micaschiste et gneiss.

Le document 2 résume des observations à l'œil nu et sous le microscope polarisante de ces trois roches, alors que le document 3 résume la composition chimique de ces trois roches :

| Doc 2 | Schiste | Micaschiste | Gneiss |
|---|--|---|--|
| Observation à l'œil nu |  |  |  |
| Observation de lame mince (au microscope) |  |  |  |
| Structure | Litage | Schistosité (début de foliation) | Foliation |
| H ₂ O | ++++ | +++ | ++ |
| Taille des minéraux | ++ | +++ | ++++ |
| Composition minéralogique | Quartz Séricite Chlorite | Quartz Muscovite biotite | Quartz Feldspath potassique Biotite |

| Eléments chimiques | Roches métamorphiques | | |
|--------------------------------|-----------------------|-------------|--------|
| | Schiste | Micaschiste | Gneiss |
| SiO ₂ | 60,2 | 60,9 | 68,7 |
| Al ₂ O ₃ | 20,9 | 19,1 | 16,2 |
| Fe ₂ O ₃ | 2,8 | 1,2 | 0,7 |
| FeO | 3,7 | 4,1 | 4,1 |
| MgO | 0,85 | 1,4 | 1,3 |
| CaO | 0,55 | 1,7 | 1,8 |
| Na ₂ O | 2,45 | 2,1 | 3,8 |
| K ₂ O | 4,1 | 3,7 | 3 |

Doc 3

- 1 – Décrivez les propriétés structurales et minéralogiques de ces trois roches.
- 2 – Que peut-on conclure d'après la comparaison de la composition chimique de ces trois roches sachant que l'argile possède la même composition chimique.
- 3 – Définissez donc le phénomène de métamorphisme.

Réponse :

1 – Du schiste vers micaschiste, on observe :

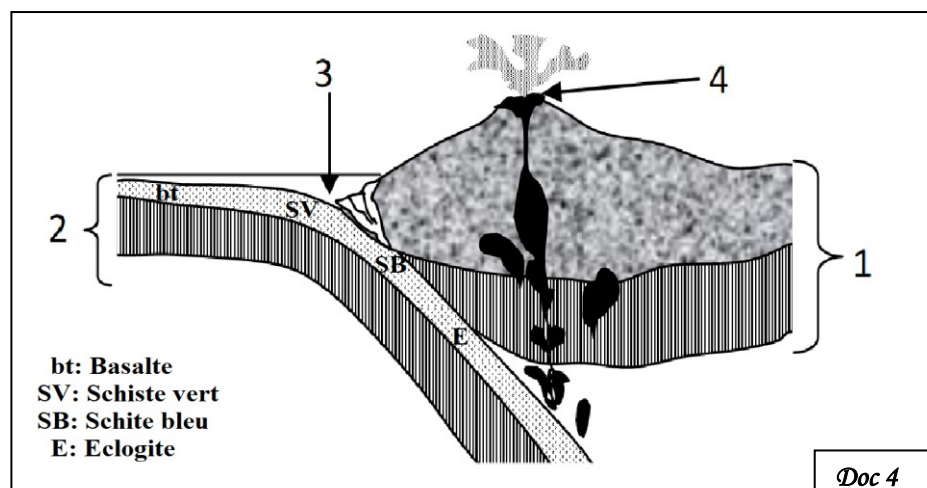
- *Ces Trois roches sont feuilletées.
- *Augmentation de la consolidation des feuilletés. (Augmentation de la pression).
- *Changement de la structure. (Augmentation de la pression).
- * Augmentation de la taille des minéraux. (Augmentation de la température).
- *Diminution du pourcentage de l'eau. (Augmentation de la température).
- *Variation de la composition minéralogique : disparition des minéraux et apparition de nouveaux minéraux. (Augmentation de la température).

2 – Malgré que ces trois roches n'ont pas la même composition minéralogique, elles présentent la même composition chimique qui est la même que celle de l'argile. On conclut que ces trois roches ont le même origine c'est-à-dire qu'elles dérivent de la transformation de l'argile sous l'effet de la pression et de la température.

Ces trois roches sont issues de roches préexistantes sédimentaires (argile) riches en silicate d'alumine qui ont subi les transformations structurales et minéralogiques sans transformations chimiques.

3 – Le Métamorphisme : un phénomène géologique correspondant aux transformations minéralogiques et structurales d'une roche préexistante à l'état solide, sous l'effet de variations de température et de pression.

3) Les roches métamorphiques des zones de subduction. Voir document 4 :



Dans la zone de subduction, on distingue 2 types de métamorphisme :

- ❖ Un métamorphisme limité dans **une auréole** autour des plutons de granodiorites qui se trouvent dans la croûte continentale de la plaque chevauchante et qui peut être dû à l'action de la température des magmas au cours du plutonisme.
- ❖ Un métamorphisme des roches de la croûte océanique de la plaque plongeante et qui donne des roches métamorphiques caractéristiques qui sont : schiste vert – schiste bleu – métagabbro – métagabbro très métamorphisé – éclogite. Ce métamorphisme de la croûte océanique selon le plan de Bénéioff qui est un plan froid, laisse penser que c'est un métamorphisme dû à l'action de la pression exercée par la plaque chevauchante sur la plaque plongeante.

❖ Basalte \longrightarrow Schiste vert \longrightarrow Schiste bleu \longrightarrow Eclogite.

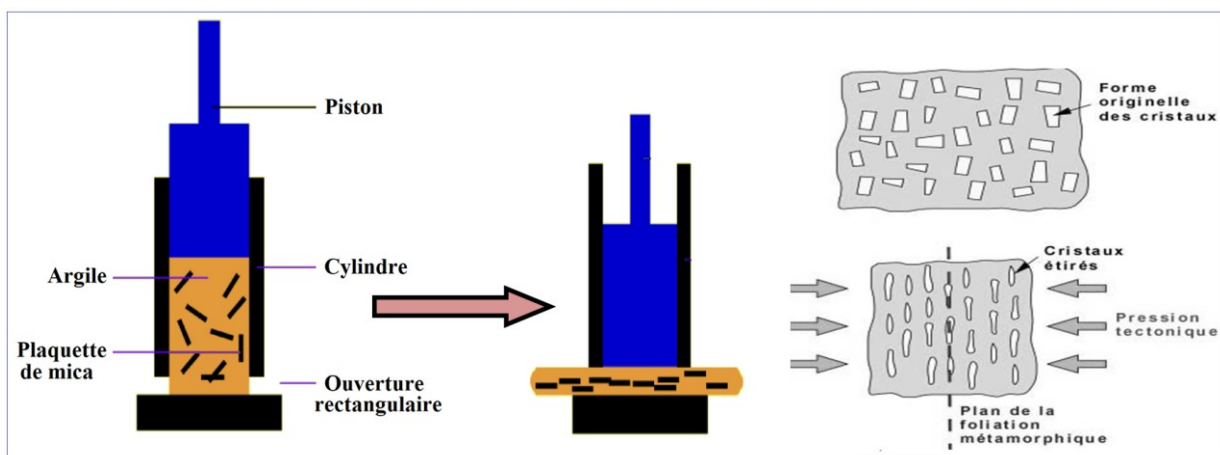
❖ Gabbro \longrightarrow Métagabbro 1 \longrightarrow Métagabbro 2 \longrightarrow Schiste bleu \longrightarrow Eclogite

II – Les facteurs du métamorphisme.

1) Les données expérimentales.

*Donnée 1 : Expérience de Daubée :

Dans un cylindre à piston et avec des ouvertures rectangulaires à sa base, un mélange d'argile et de cristaux laminaires de mica est soumis à une haute pression appliquée avec le piston. Le document 5 les données et les résultats de cette expérience.



*Donnée 2 : Expérience de Winkler et ses collaborateurs :

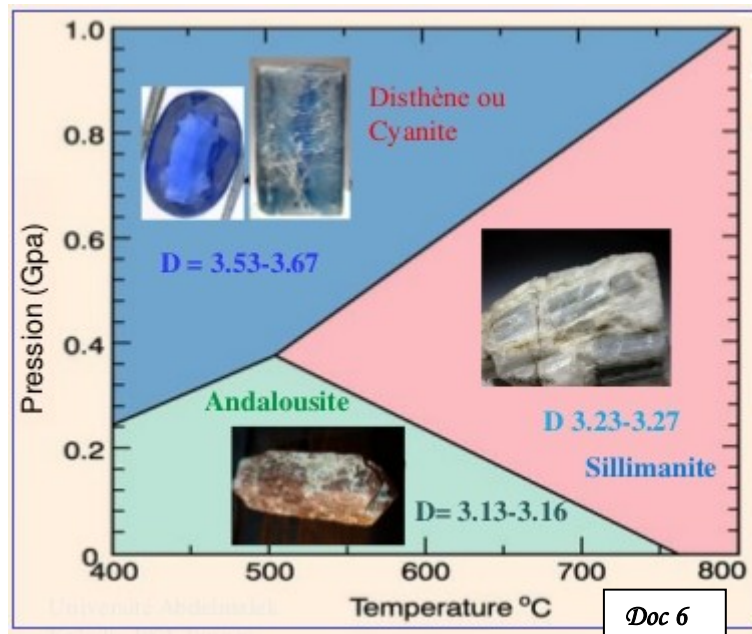
Winkler et ses collaborateurs ont soumis des roches argileuses à une pression stable (2kbar) avec une augmentation progressive de la température :

- A 570°C apparaissent de nouveaux minéraux comme la biotite et l'andalousite :

- A 700°C début la fusion, on obtient deux milieux dont l'un est représenté par la matière résistante à la fusion comme la biotite et la sillimanite et l'autre est issue de la fusion partielle.

***Donnée 3 : Domaine de stabilité d'une famille de silicates d'alumine.**

On soumet un mélange de silicates d'alumine à des variations de pression et de température en laboratoire ce qui permet de repérer des zones de stabilité des minéraux. Voir document 6 :



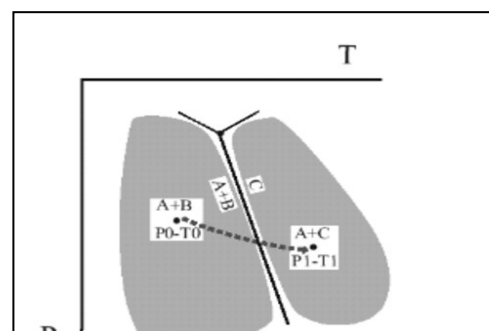
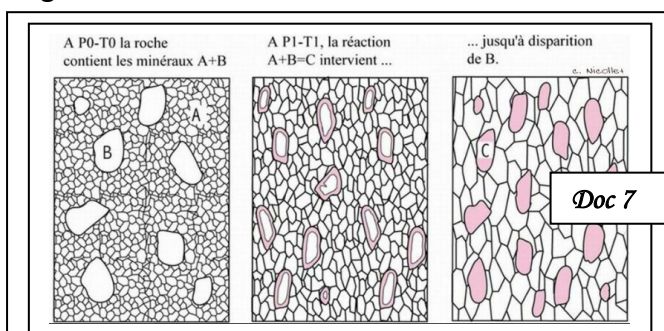
1 – D’après l’utilisation des données 1 et 2 **vérifiez** l’importance de la pression et la température au cours de la formation des roches métamorphiques.

2 – D’après l’exploitation du donnée 3, **montrez comment** une même composition chimique peut donner des minéraux différents. **Quelle est** l’importance de la présence de l’un des minéraux présenté sur le document 6 dans une roche métamorphique.

Réponse :

1 – Les résultats présentés par les données 1 et 2 confirment l’importance des variations structurales et minéralogiques caractéristiques des roches métamorphiques. (La

température va entrainer la transformation minéralogique et **la pression** va entrainer les changements de structure de la roche. Voir document 7 :



2 – On appelle silicate d'alumine : SiAl_2O_5 (Andalousite, Disthène et sillimanite) les 3 minéraux qui dérivent de l'Argile. Chacun de ces 3 minéraux présente **un domaine de stabilité particulier** sous lequel ce minéral est stable. Cela démontre que la même composition chimique peut former des minéraux différents. La présence de l'un de ces 3 minéraux peut être utilisée afin de déterminer des anciennes conditions de pression et de température régnante au cours de leur formation. Ainsi on les appelle **minéraux index**.

Minéral indicateur : minéral indiquant les conditions de pression et de température subit par la roche métamorphique qui contient ce minéral au cours de sa genèse.

*Andalousite est un minéral qui caractérise un métamorphisme de basse pression (BP).

*Disthène est un minéral qui caractérise un métamorphisme de haute pression (HP).

*Sillimanite est un minéral qui caractérise un métamorphisme de haute température (HT).

2) Les conditions naturelles de métamorphisme.

En profondeur du globe terrestre, il y a augmentation des deux facteurs pression et Température.

✓ La pression augmente suite à l'enfouissement des roches et au contrainte résultante Des forces tectoniques compressives dues au mouvement convergentes des plaques lithosphériques.

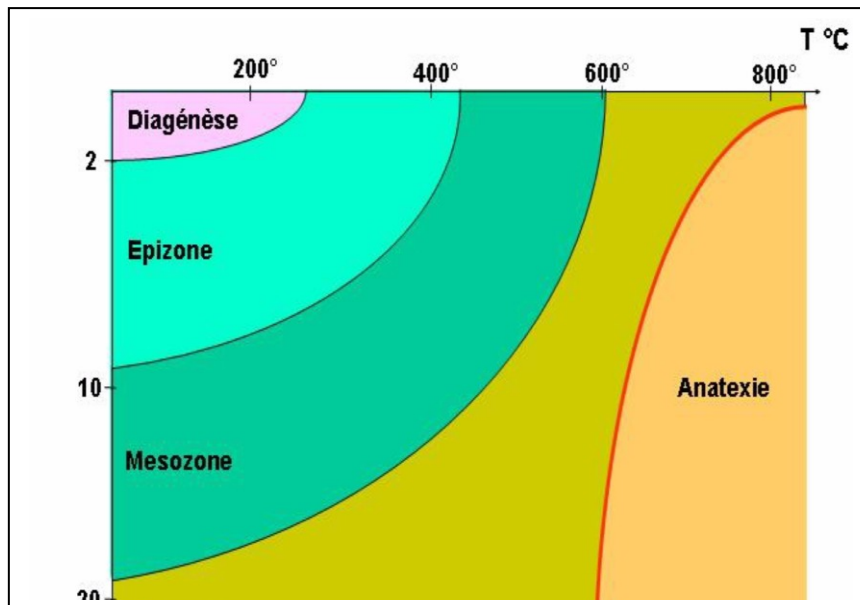
✓ La température augmente selon le gradient géothermique avec une moyenne allant De 25°C à $30^\circ\text{C}/\text{Km}$. Cela montre qu'en profondeur de la terre se trouve des conditions favorables du métamorphisme et surtout dans les zones de convergence (subduction, obduction et collision).

NB :

Il existe 3 grands domaines pression-température (P,T), se retrouvant aussi spatialement sur le terrain, pouvant être observés, de l'intensité la plus faible à la plus forte du métamorphisme : **épizone, mésozone, catazone**.

La limite inférieure de l'épizone est le domaine de la diagénèse (consolidation des sédiments pour donner des roches sédimentaires), **la limite supérieure de la catazone est la zone**

d'anatexie, ou se manifeste la fusion partielle amenant au magmatisme. § :



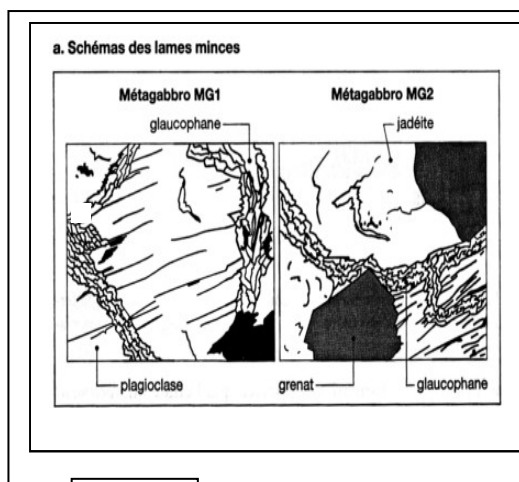
Doc 8

III – Notions de minéral index et faciès métamorphiques.

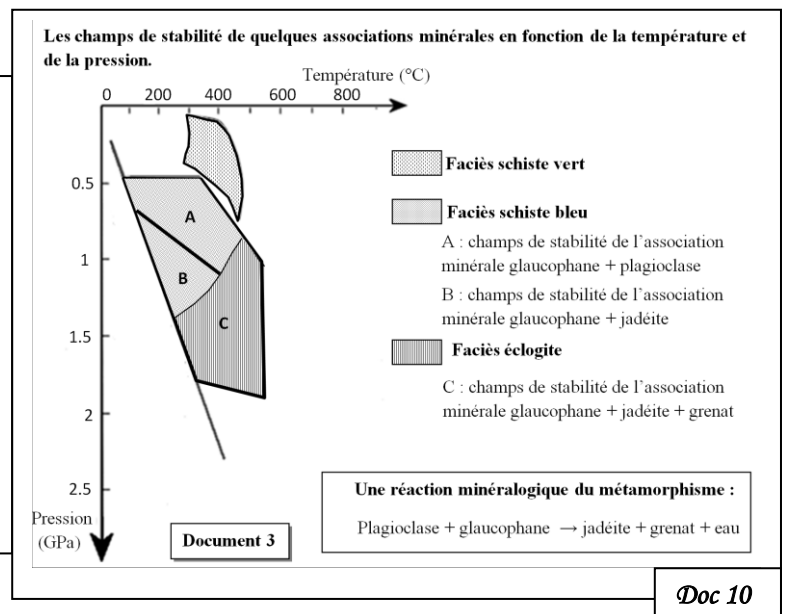
Au niveau des chaînes de montagne, la gabbro est accompagné par la formation de deux roches métamorphiques de métagabbro. Voir document 9. Le document 10 représente les champs de stabilité de quelques associations minérales en fonction de la température et de la pression.

1 – En exploitant les données des documents 9 et 10, **décrivez** les transformations minéralogiques lorsqu'on passe de la roche MG1 à la roche MG2, et **déterminez** les conditions de pression et de température dans lesquelles ont été formées ces deux roches.

2 – **Expliquez** ces transformations minéralogiques, puis **définissez** le terme faciès métamorphique.



Doc 9



Doc 10

Réponse :

1 – Les modifications minéralogiques que subissent les roches :

En passant de MG1 à MG2, on observe : la disparition du plagioclase et l'apparition de la jadéite et du grenat.

Les conditions de formation des deux roches R1 et R2 :

| Les roches | MG1 | MG2 |
|------------------|------------|-----------|
| Pression (GPa) | 0.45 à 1.1 | 0.8 à 1.9 |
| Température (°C) | 80 à 480 | 250 à 540 |

2 -Explication des modifications minéralogiques:

Lorsqu'on se déplace du champs A au champs C, les roches subissent une augmentation importante de la pression en comparaison avec la faible augmentation de la température, ce qui est à l'origine de réactions chimiques permettant la disparition du plagioclase et l'apparition de la jadéite et du grenat.

- **faciès métamorphique** est un ensemble de minéraux qui caractérisent des conditions de température et de pression données. (est un domaine précis des conditions de pression et de température sous lequel une association minéralogique est stable. Ainsi on distingue le faciès bleu (minéraux index Glaucophane) et faciès éclogites (minéraux index Grenat).

Les limites entre les différents faciès correspondent à des réactions chimiques par le biais desquelles apparaissent ou disparaissent certains minéraux index.

- **La séquence métamorphique** est un ensemble de roches métamorphiques de différents degrés métamorphiques, dont les compositions chimiques sont voisines qui résultent de la même roche mère.

Exp : Argile → Schiste → Micaschiste → Gneiss

Séquence métamorphique de l'argile caractéristique des zones de collision.

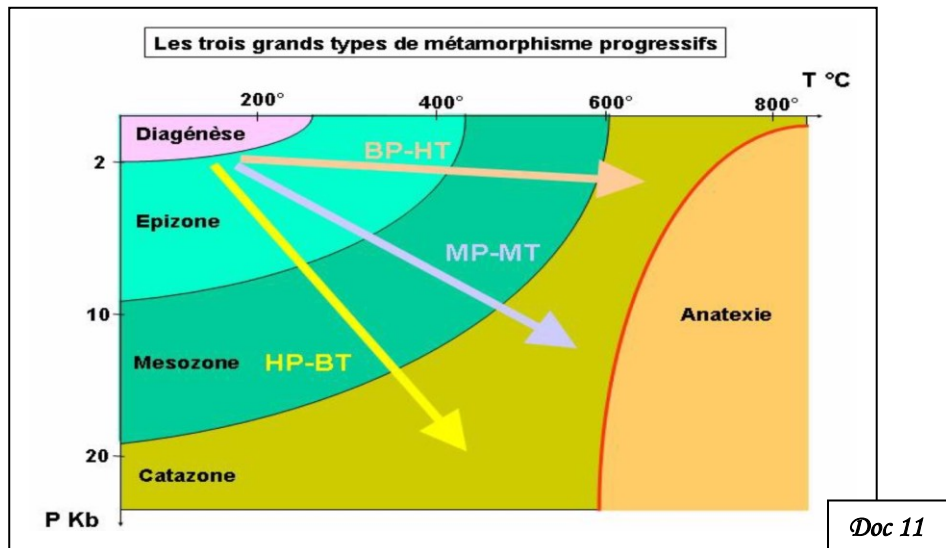
Basalte → Schiste vert → Schiste bleu → Eclogite

Séquence métamorphique de l'argile caractéristique des zones de subduction.

- **La série métamorphique** est l'ensemble des faciès métamorphiques qui dérivent d'une roche mère.

IV – Les différents domaines de métamorphisme.

Le fait que le métamorphisme est dû à l'action de la pression et de la température, et le fait que l'intensité de ces deux facteurs varie en profondeur selon les types de zone de convergence, donc le métamorphisme dépend de l'intensité de l'action de chacun de ces deux

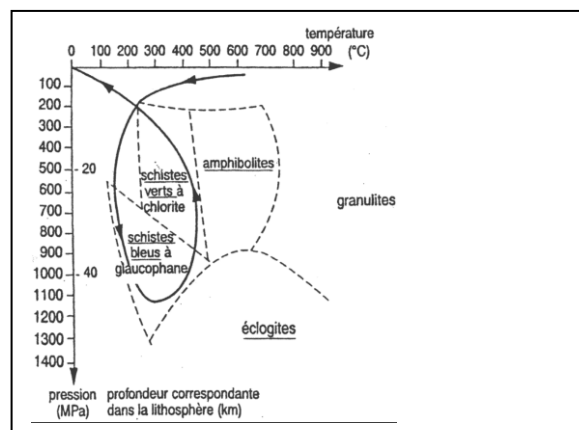


facteurs et par suite on détermine généralement trois types de métamorphismes : Voir document 11.

❖ **Le métamorphisme dynamique (métamorphisme de subduction ou métamorphisme d'enfouissement)** : C'est un métamorphisme dû à l'action de la pression plus qu'à l'action de température (HP- BT), il caractérise les zones de subduction et les zones d'obduction.

***Dans les zones de subduction**, ce métamorphisme affecte les roches de la croûte océanique de la plaque plongeante.

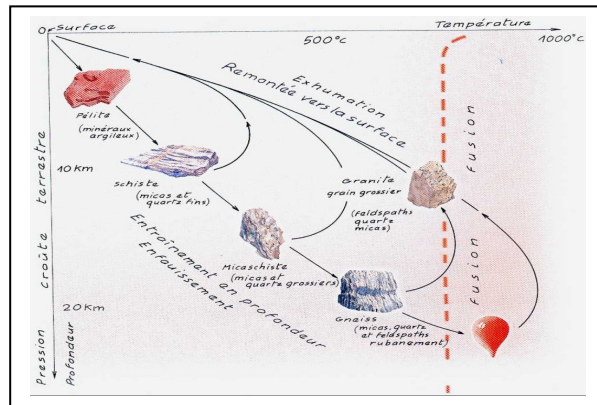
***Dans les zones d'obduction**, il affecte les roches de la croûte continentale surmontée par les ophiolites en obduction.



❖ **Le métamorphisme thermique (ou métamorphisme de contact)** : il est essentiellement dû par l'élévation de la température sous des pression faible (BP - HT). Ce métamorphisme est lié à l'intrusion du magma (zones de subduction, zones de collision et au niveau des dorsales océaniques), ce qui entraîne une augmentation de la température au niveau des roches qui l'entourent et avec formation d'une auréole du métamorphisme.

❖ **Le métamorphisme thermodynamique (ou métamorphisme régional ou métamorphisme général)**

Ce métamorphisme dû à l'action plus ou moins de la pression et de la température en profondeur (HP –HT ou MP – MT), il caractérise les zones de collision au niveau des racines crustales des chaînes de montagnes.



Conclusion :

- Le métamorphisme est un phénomène géologique naturel qui provoque des transformations de la structure et de la composition minéralogique des roches préexistantes sédimentaires, magmatique ou métamorphiques sous l'action de la pression et de la température en profondeur sans transformation de leur composition chimique et à l'état solide.
- La tectonique convergente des plaques dans les zones de rapprochement est accompagnée du métamorphisme en profondeur où les conditions de pression et de température deviennent favorables pour le métamorphisme.

La granitisation et sa relation avec le métamorphisme

La granitisation est un phénomène géologique résultant de la transformation suivie d'une fusion partielle de roches préexistantes à haute température et sous haute pression pour donner un granite.

*Granitisation dans les zones de subduction : elle résulte de la fusion partielle de la péridotite (manteau supérieur). Ce magma se refroidit lentement et se cristallise entièrement lors de sa montée en donnant des roches granitiques à structure grenue sous forme de plutons intrusifs.

* Granitisation dans les zones de collision : elle résulte de la fusion partielle du gneiss (anatexie) donnant la migmatite et la fusion totale aboutissant à un magma granitique qui donne :

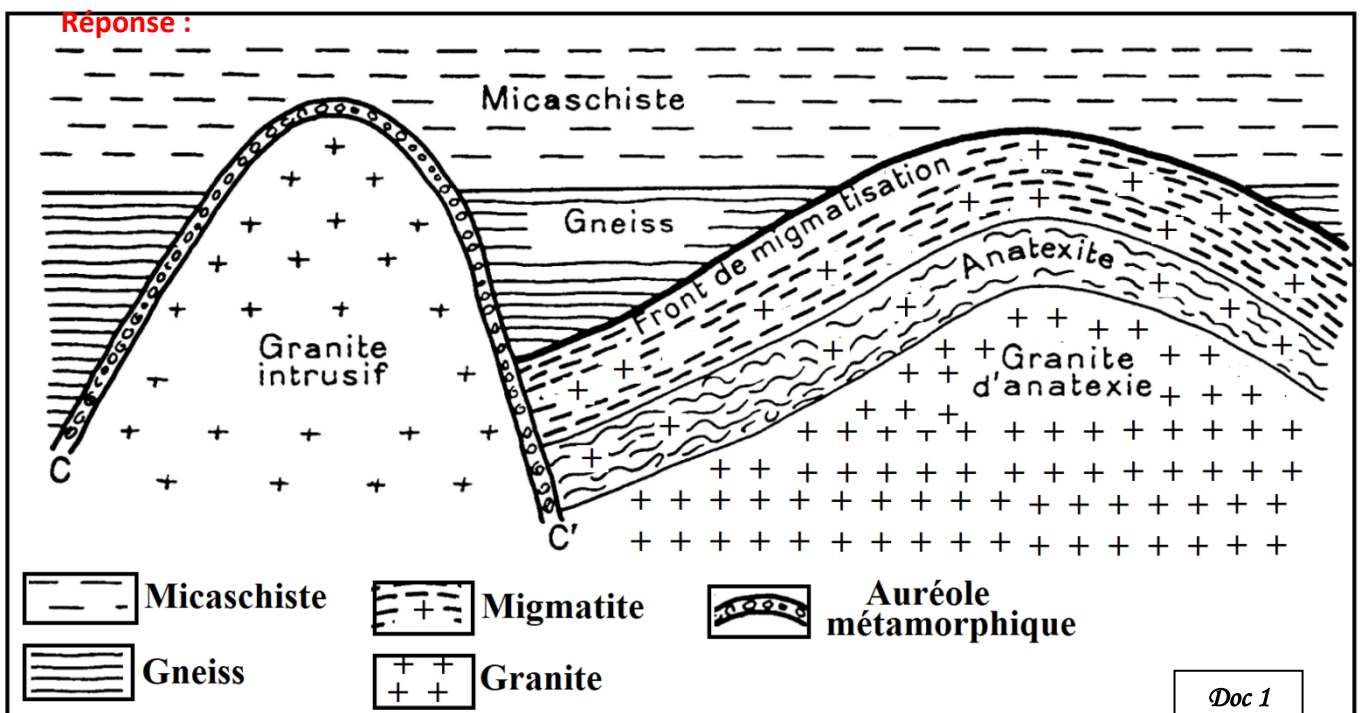
- Par refroidissement sur place et en profondeur, un granite d'anatexie.
- Par remontée par les fissures en profondeur, un granite intrusif.

I - Les caractéristiques du granite d'anatexie et du granite intrusif.

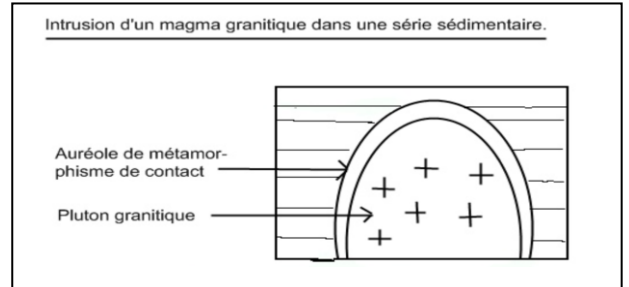
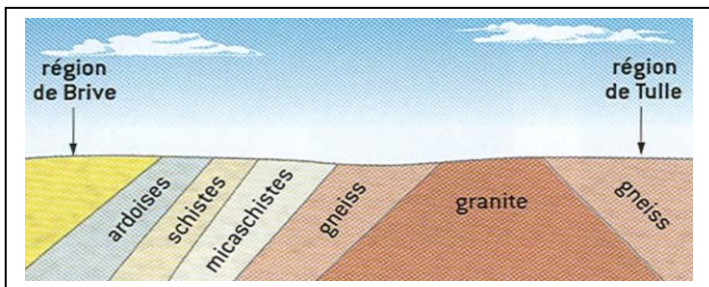
Le document 1 présente une carte géologique d'une région montagneuse, qui montre un affleurement des roches métamorphiques à côté des deux types de granites.

❖ En illustrant les données représentées par le document 1, citez les caractéristiques qui différent les deux types de granites.

Réponse :



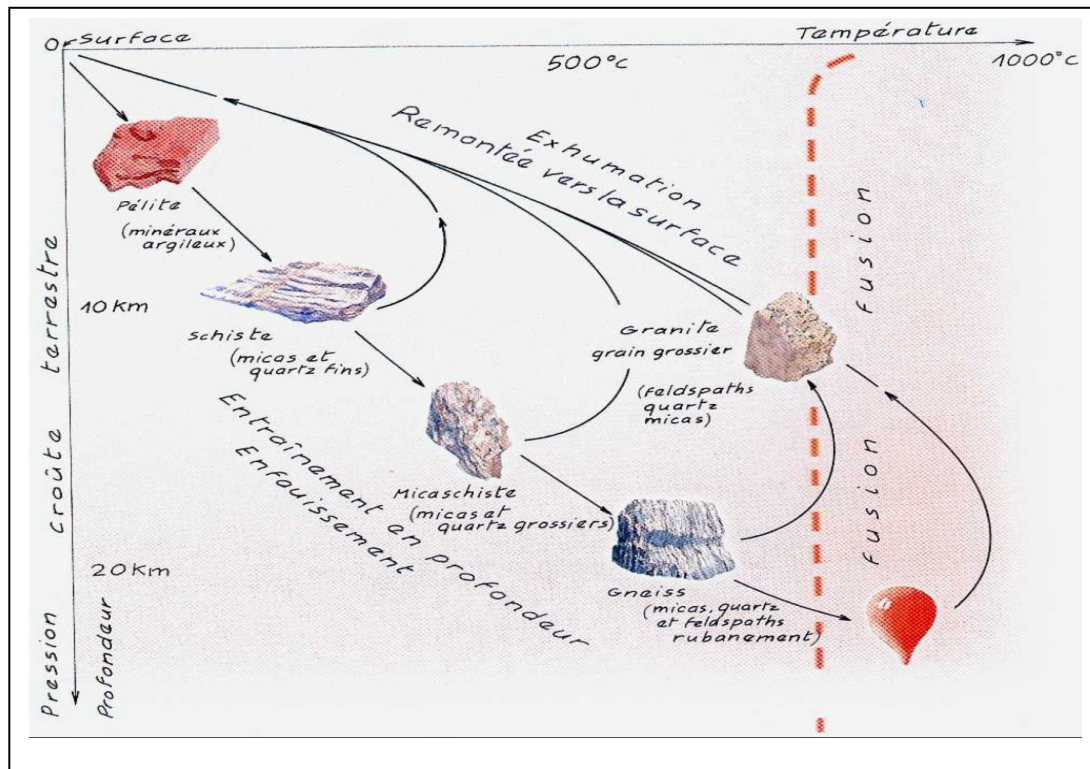
| Granite d'anatexie | Granite intrusif |
|--|--|
| *Occupe une grande surface | * Occupe une petite surface sous forme de batholite |
| *Absence d'une auréole de métamorphisme. | * Entouré d'une auréole de métamorphisme. |
| *Délimité par la migmatite (granite + gneiss). | *Absence de migmatite. |
| * ses limites avec les roches métamorphiques ne sont pas claires | *ses limites avec les roches métamorphiques sont claires par une auréole métamorphique. |
| *Parallèle aux roches avoisinantes. | *Traverse les roches avoisinantes. |
| *Se forme en grande profondeur (cristallisation du magma sur place en profondeur : cristaux de grandes tailles). | *Se forme en faible profondeur (cristallisation du magma dans les fissures au cours de sa montée : cristaux de petites tailles). |
| *Structure grenue. | *Structure microgrenue. |
| *Lié au métamorphisme régional. | *Lié au métamorphisme de contact. |
| *Provient d'un magma issu d'un métamorphisme externe. | *Provient d'un magma granitique qui se refroidit à des niveaux superficiels. |



II – Propriétés et formation du granite d'anatexie.

Le document 2 présente les observations microscopiques de trois lames minces : du gneiss, migmatite et du granite d'anatexie, alors que le document 3 présente les conditions de mise en place de ce granite.

| Doc 2 | Gneiss | Migmatite | Granite |
|------------|-----------|--------------------|---------|
| Lame mince | | | |
| Structure | Foliation | Foliation + Grenue | Grenue |



Doc 3

1 – **Comparez** la structure de ces trois roches en déterminant l'état physique régnante pendant la formation de chaque roche.

2 – **En illustrant** les informations apportées par le document 3, **précisez** les conditions de fusion partielle (anatexie) au niveau des chaînes de collision. **Puis montrez** le mode de formation de la migmatite et du granite d'anatexie.

Réponse :

1 – ***Le gneiss** roche du métamorphisme régional (thermodynamique) présente une structure en foliation témoignant de transformation à l'état solide.

***Le granite d'anatexie** roche plutonique a structure grenue issu d'un refroidissement d'un magma liquide en profondeur.

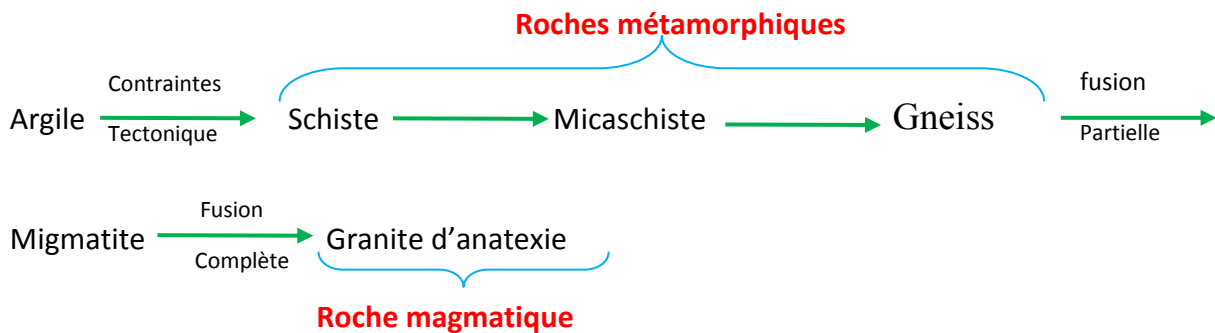
***La migmatite :** roche qui caractérise la fin du métamorphisme et le début d'anatexie, présente à la fois la structure en foliation (gneiss) et une structure grenue (granite) ainsi une situation intermédiaire entre le gneiss et le granite.

- L'étude détaillée de ces trois roches nous pousse à supposer que la migmatite et le granite proviennent de la fusion partielle appelée **anatexie** suite à des élévations extrêmes de pression et de température.

2 – Au niveau des chaînes de collision, les roches de la croûte continentale sont soumises à des élévations importantes de la pression et de la température avec formation de gneiss. Sous l'effet de l'érosion les roches profondes de la croûte remontent en gardant la même

température (baisse de température) et ainsi les minéraux commencent à fondre (anatexie) avec obtention **d'un liquide primaire** à composition granitique qui reste attaché à la fraction solide (**gneiss**) et donnant ainsi naissance à **la migmatite**.

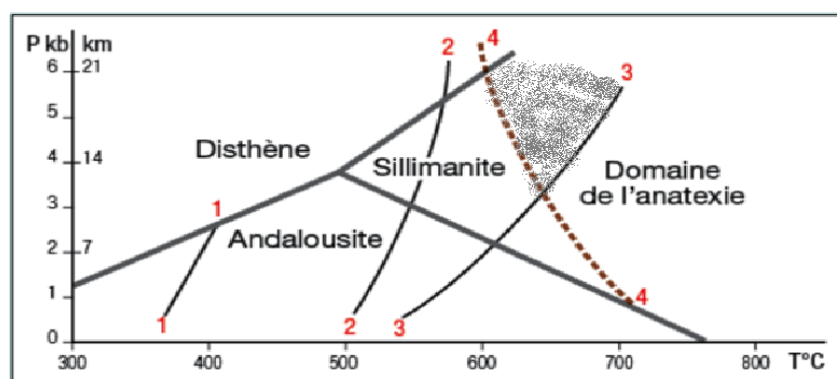
Si le taux de la fusion augmente la quantité du liquide granitique devient importante, il se sépare de la fraction qui n'est pas fusionnée avec formation d'un magma granitique qui se cristallise sur place en profondeur et formation **d'un granite d'anatexie**.



III – Propriétés et formation du granite intrusif

Le tableau du document 4 la composition minéralogique des roches avoisinantes du granite intrusif, alors que le diagramme du document 5 présente les domaines de stabilité de plusieurs associations minéralogiques.

| Roche | 1 | 2 | 3 | 4 |
|---------------------------------|---------------------|------------------------------------|------------------------------------|--------------------|
| Caractéristiques minéralogiques | Biotite + muscovite | Biotite + cordiérite + andalousite | Feldspath potassique + andalousite | Biotite + serecite |



Courbe 1 : réaction chlorite + muscovite (à gauche) = biotite + muscovite + quartz + eau (à droite)

Courbe 2 : réaction muscovite + chlorite + quartz (à gauche) = biotite + cordiérite + andalousite ou sillimanite ou disthène + eau (à droite)

Courbe 3 : réaction muscovite + quartz (à gauche) = Feldspath potassique + andalousite ou sillimanite + eau (à droite)

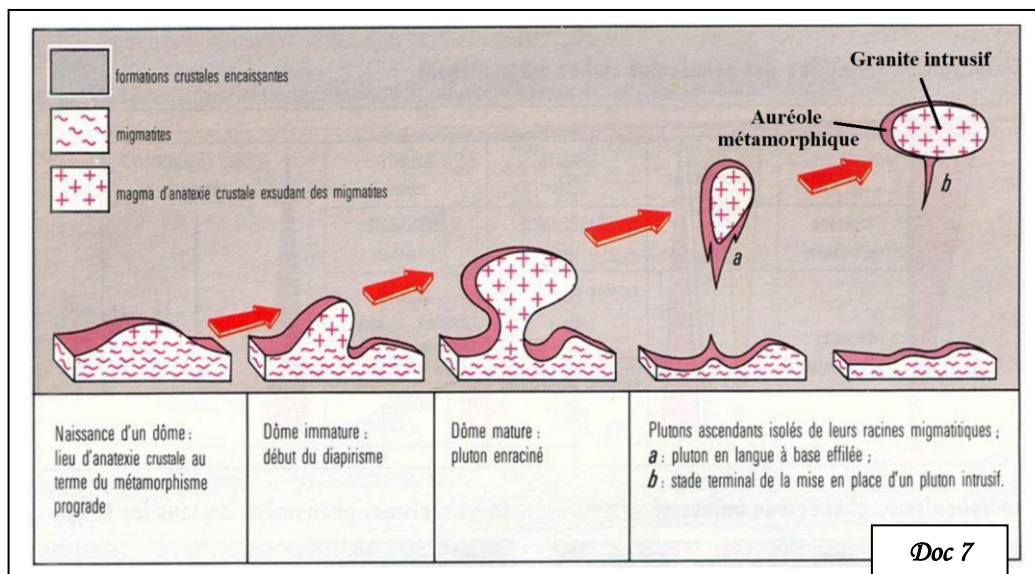
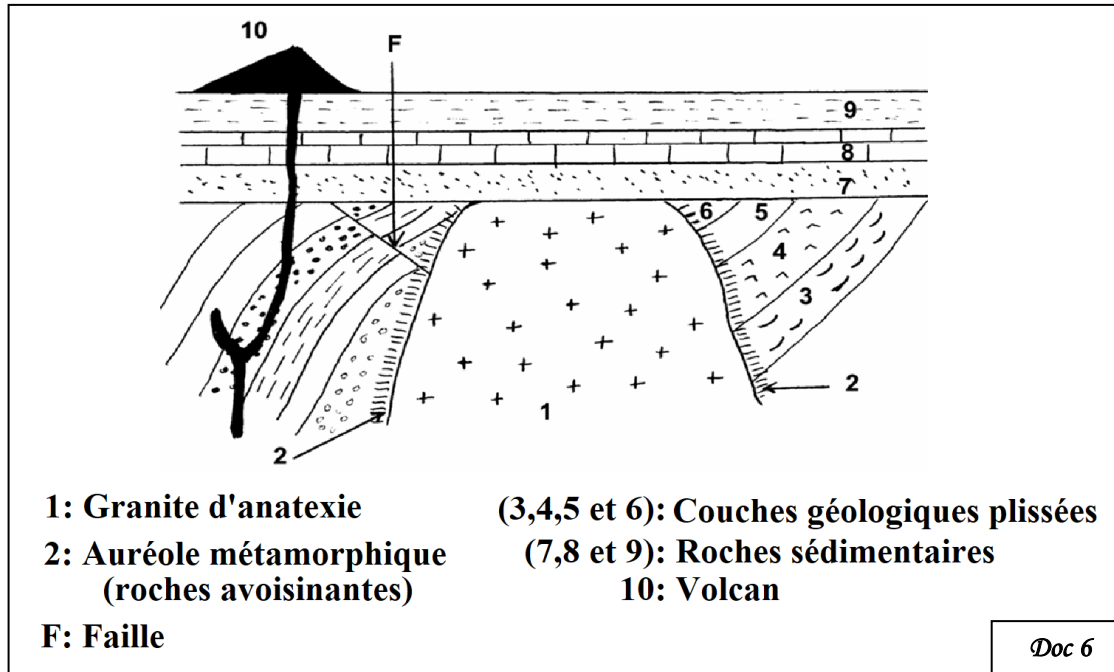
Courbe 4 : courbe de fusion d'un granite hydraté (courbe du solidus séparant un domaine où seul le solide est présent, à gauche, et un domaine où liquide et solide peuvent coexister, à droite)

Doc 4

Doc 5

1 – En utilisant les documents 4 et 5, **Montrez** que les roches avoisinantes à ce granite ont subi un métamorphisme thermique (métamorphisme de contact).

2 – D’après le schéma des documents 6 et 7, **montrez** le mode de formation de ce granite.



Réponse :

1 – En se déplaçant de la roche 1 à la roche 3 (doc 5), on note une augmentation importante de la température. Donc les roches avoisinantes ont subi un métamorphisme de contact, sous l’effet de l’augmentation de chaleur issue de l’intrusion du magma, ces roches métamorphiques se caractérisent par la présence des minéraux orientés avec apparition de l’andalousite.

2 – Sous l'effet de l'anatexie un magma granitique se forme et en présence de fissures, il peut remonter à des niveaux supérieurs en traversant les couches géologiques. Le magma se refroidit lentement pour donner naissance **au granite intrusif**.

Lors de sa montée, grâce à sa chaleur importante, le granite intrusif modifie la structure et la composition minéralogique des roches avoisinantes (qui traverse) formant **l'auréole métamorphique** : C'est **le métamorphisme de contact**.

