

Les phénomènes géologiques accompagnant la formation des chaînes de montagnes et leur relation avec la tectonique des plaques

علوم الحياة و الأرض

I- Rappels

► Qu'est-ce qu'une plaque lithosphérique (ou tectonique) ?

Il existe plusieurs manières de représenter la structure interne de la Terre : en fonction de sa composition et en fonction de ses propriétés.

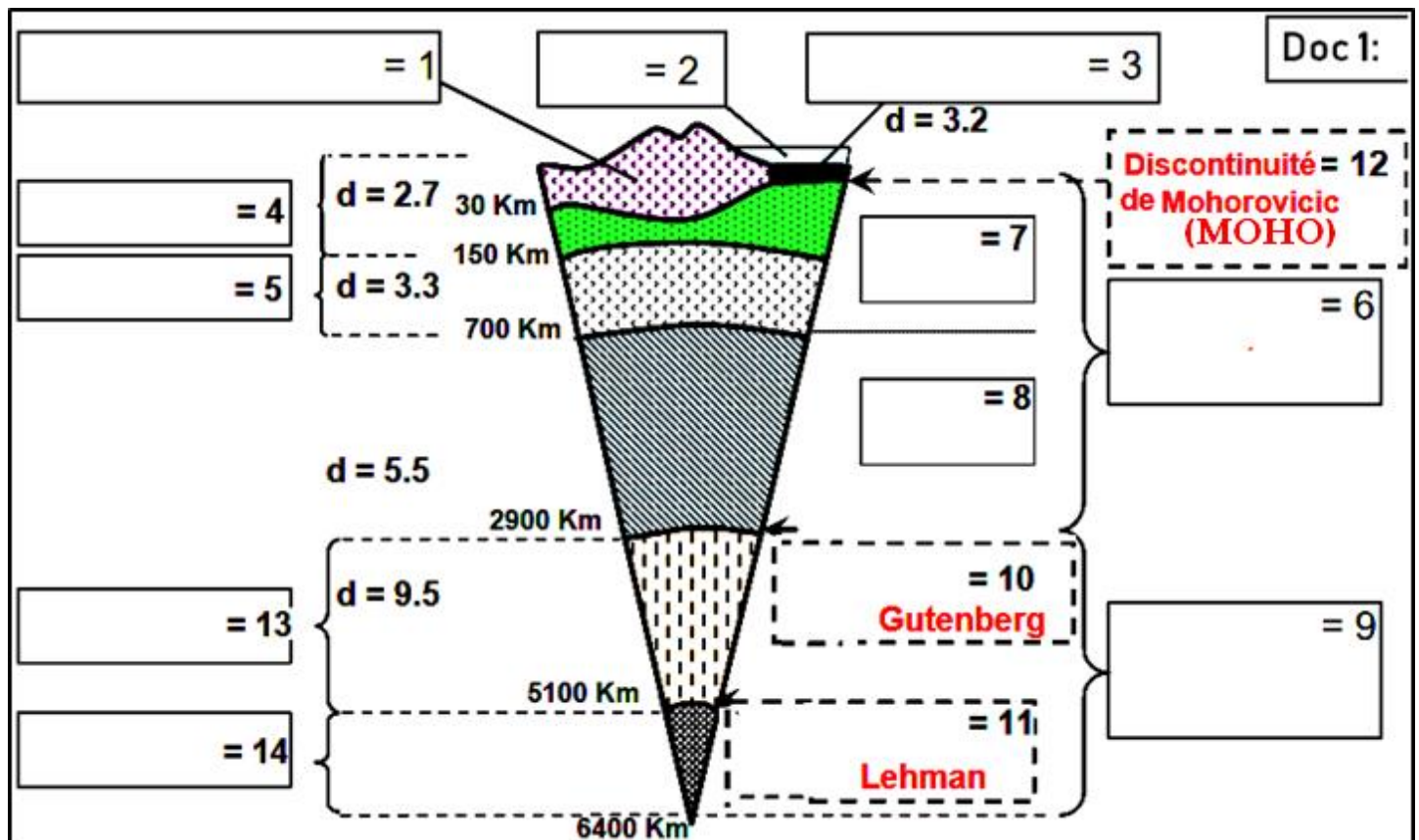
Commençons par sa composition :

- Le noyau, au centre du globe terrestre.
- Le manteau, intermédiaire, fait de péridotite
- La croûte en surface

Il faut distinguer la croûte continentale (30 à 70 km d'épaisseur) faite de granite, et la croûte océanique (10 à 15 km d'épaisseur) faite de basalte. Les deux sont recouvertes de sédiments.

La surface du globe est divisée en deux couches selon leur propriété mécanique :

- La lithosphère, rigide, composée de la croûte et de la partie supérieure du manteau.
- L'asthénosphère, zone moins rigide du manteau sur laquelle est posée la lithosphère



1. A partir du texte suivant, légender le schéma de l'intérieur de la terre.

2- Quelle est la différence de propriété physique entre la lithosphère et l'asthénosphère ?

3- Comment les scientifiques ont-ils mis à jour cette différence ?

4- Bilan à compléter : La surface de la Terre est organisée en couches superposées.

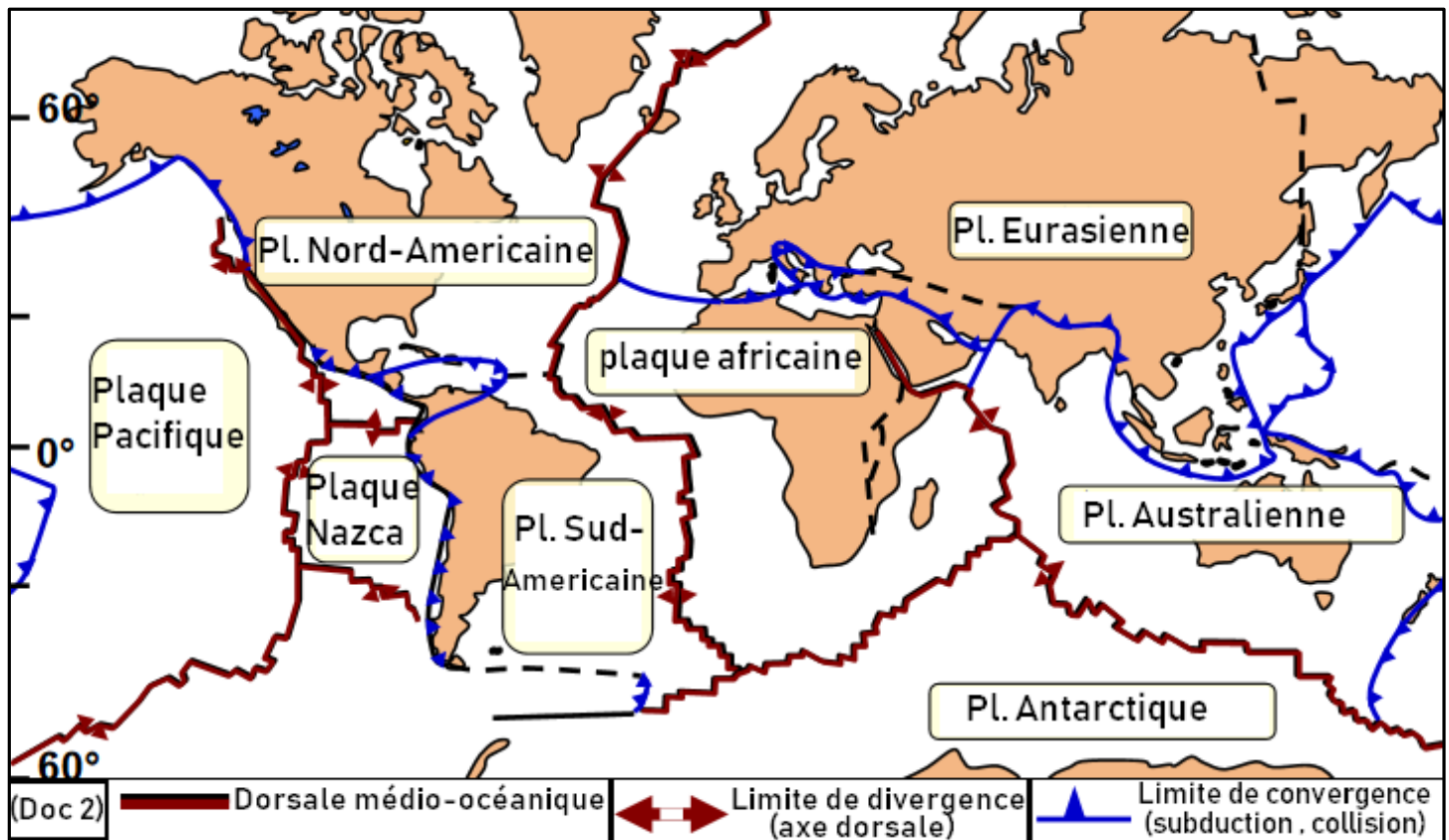
- La couche la plus externe se nomme la Les roches qui la composent sont Elle mesure environ Km sous les océans et km sous les continents.

- En dessous (de km à 700 km) se trouve l'..... Les roches qui composent cette couche sont plus malléables mais restent

La lithosphère repose ainsi sur une couche de roches malléables ce qui permet le des plaques lithosphériques

► Les plaques lithosphériques

La surface du globe est découpée en une douzaine de plaques lithosphériques (12 plaques) **de taille et de composition variables (Doc 2)**. En effet, une plaque lithosphérique peut être entièrement océanique (c'est le cas de la plaque -----) ou contenir à la fois des zones continentales et océaniques (comme la plaque -----)

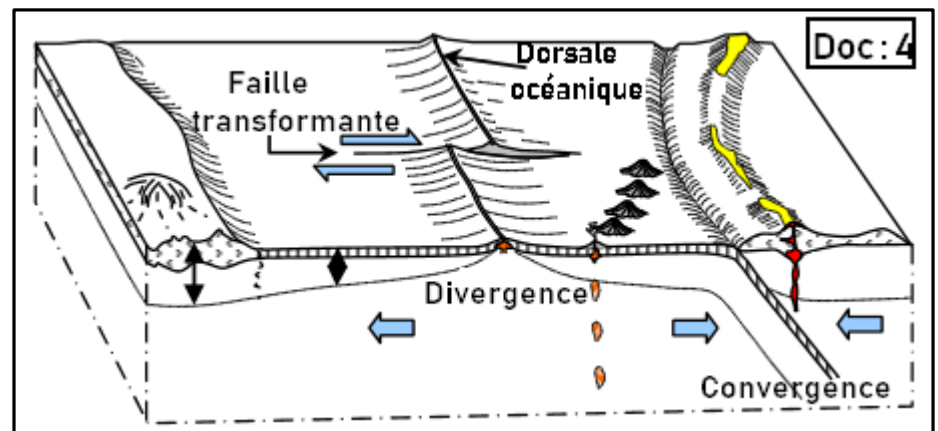
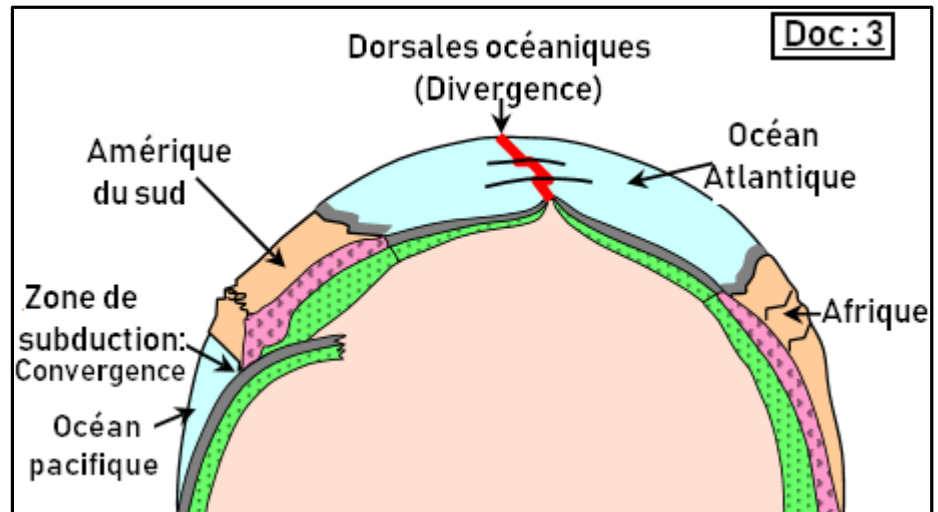


♦ Définissez la plaque lithosphérique et donnez ses caractéristiques ?

► Frontières entre les plaques lithosphériques

Les mouvements tectoniques entre les différentes plaques définissent différents types de frontières entre elles qui sont schématisés dans les Documents 3 et 4

◆ Définir les types de frontières entre les plaques lithosphériques ?.



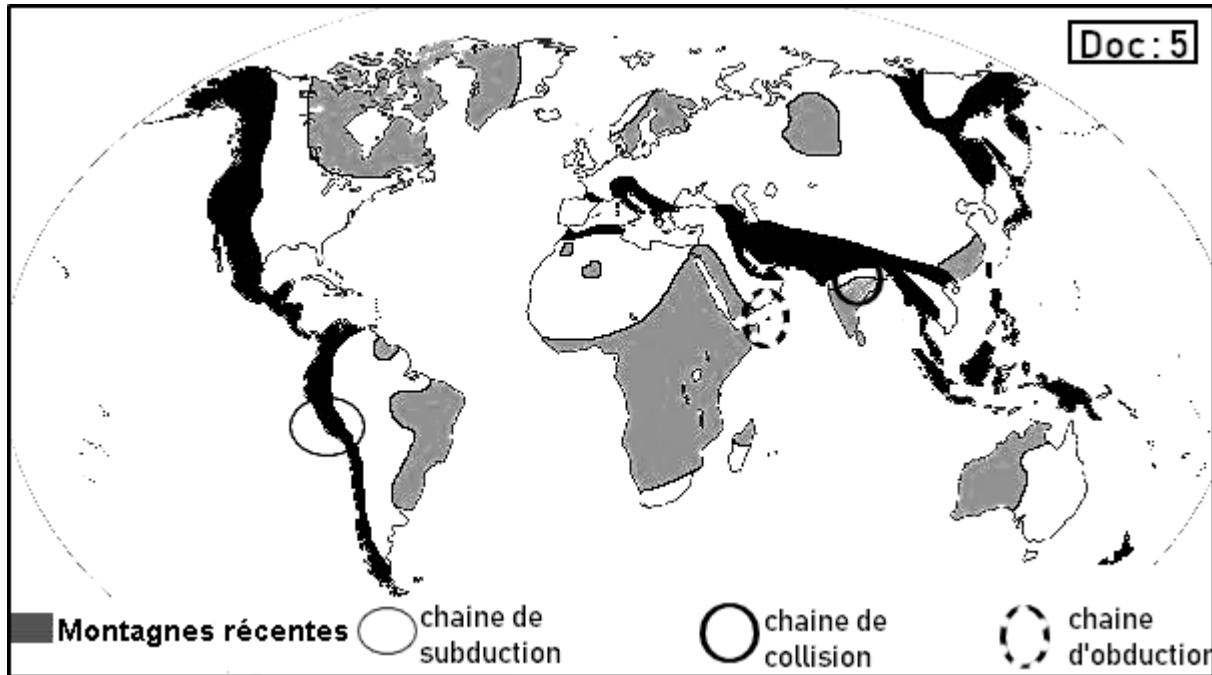
► L'emplacement des chaînes de montagnes récentes

Les chaînes de montagnes récentes (Doc 5) constituent des bandes étroites qui s'étendent sur des milliers de kilomètres, et dont l'altitude peut atteindre des milliers de mètres. Ces chaînes sont très actives sur le plan sismique. Ce sont donc des régions instables. Les chaînes de montagnes récentes se sont formées à la fin du Mésozoïque, et au début du Cénozoïque. Elles forment deux ceintures : Une ceinture Nord-Sud qui borde les

marges continentales actives autour de l'océan Pacifique (zone de subduction). L'autre ceinture est orientée Est-Ouest, et sépare la plaque eurasiatique et les plaques africaine et indienne (ceinture alpine).

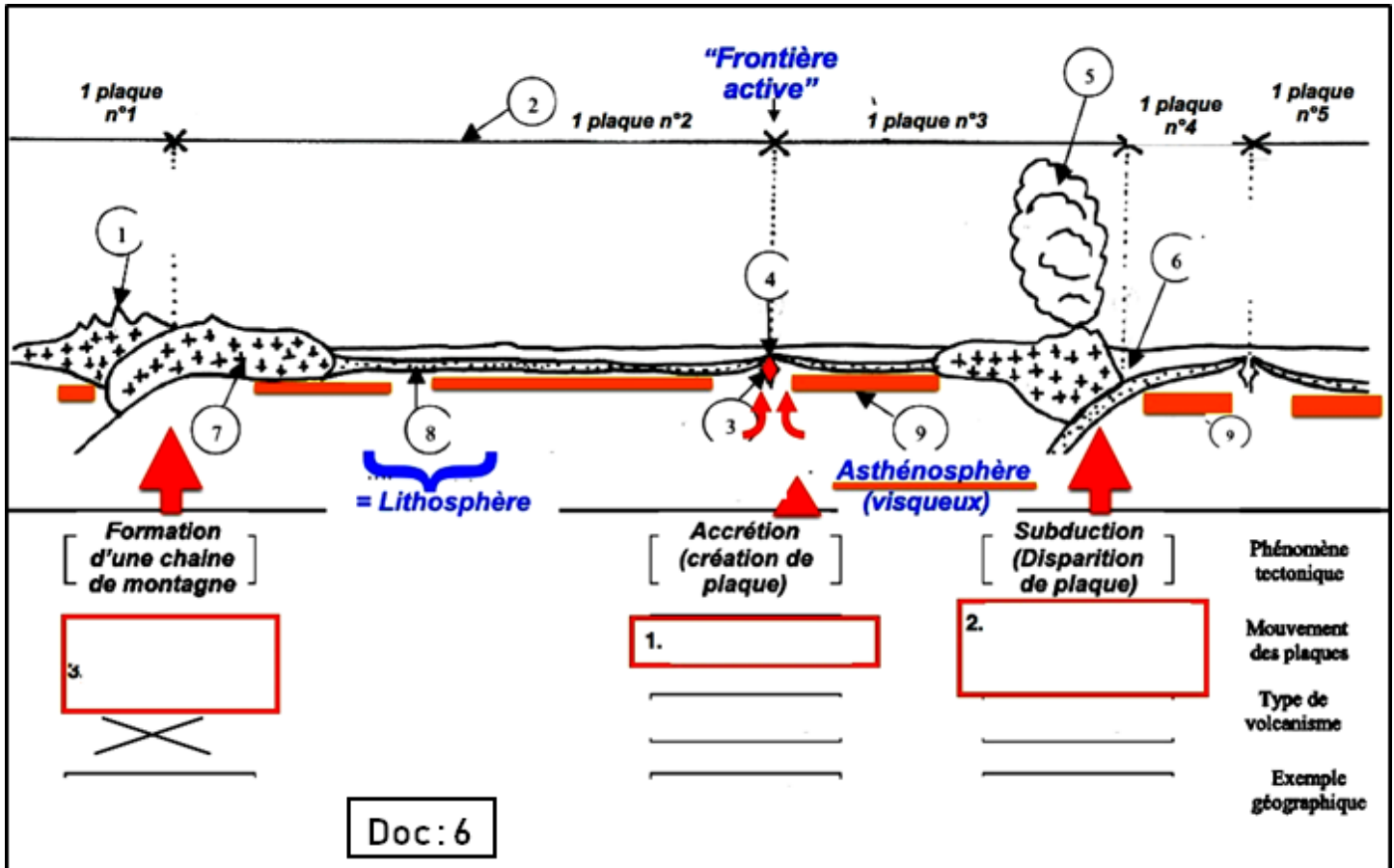
La ceinture alpine s'étend du détroit de Gibraltar jusqu'en Indonésie.

Selon leur relation avec la dynamique des plaques lithosphériques qui interviennent dans leur formation, les chaînes de montagnes récentes se répartissent en trois catégories : Les chaînes de subduction ; les chaînes d'obduction ; et les chaînes de collision.



Situez sur la carte du document 5, les deux ceintures citées dans le texte ; et montrez leur relation avec la dynamique des plaques avoisinantes ?

► *Légender le doc 6*



II- Les différents types de déformations tectoniques dans les chaînes de montagne :

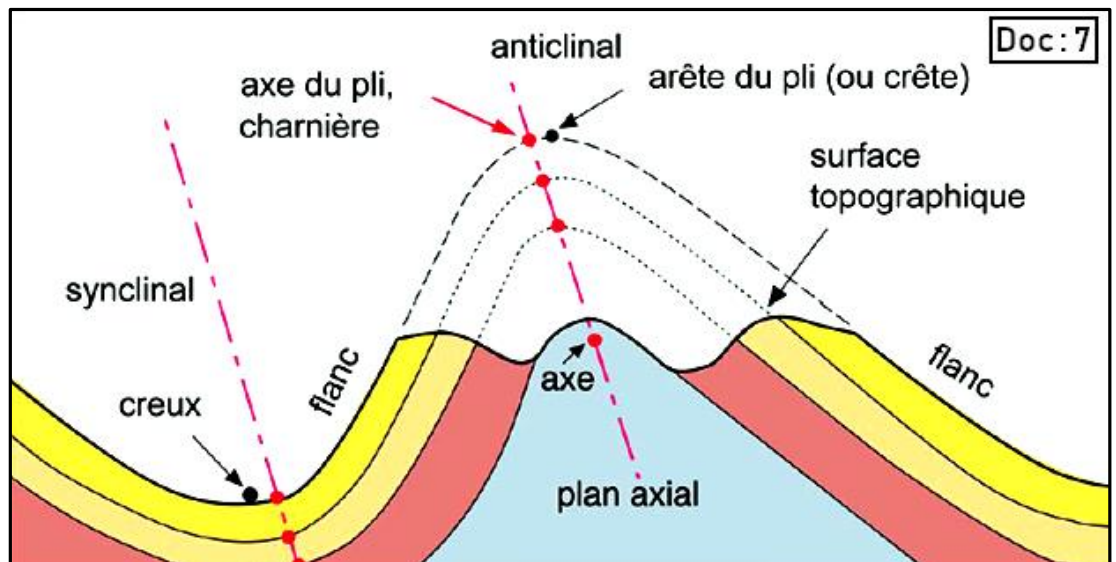
1- Les déformations souples continues ou ductiles : les plis

Les structures plissées résultent de déformation souple et se retrouvent exclusivement dans les roches sédimentaires. Un pli réunit deux parties dont une anticlinale et l'autre synclinal

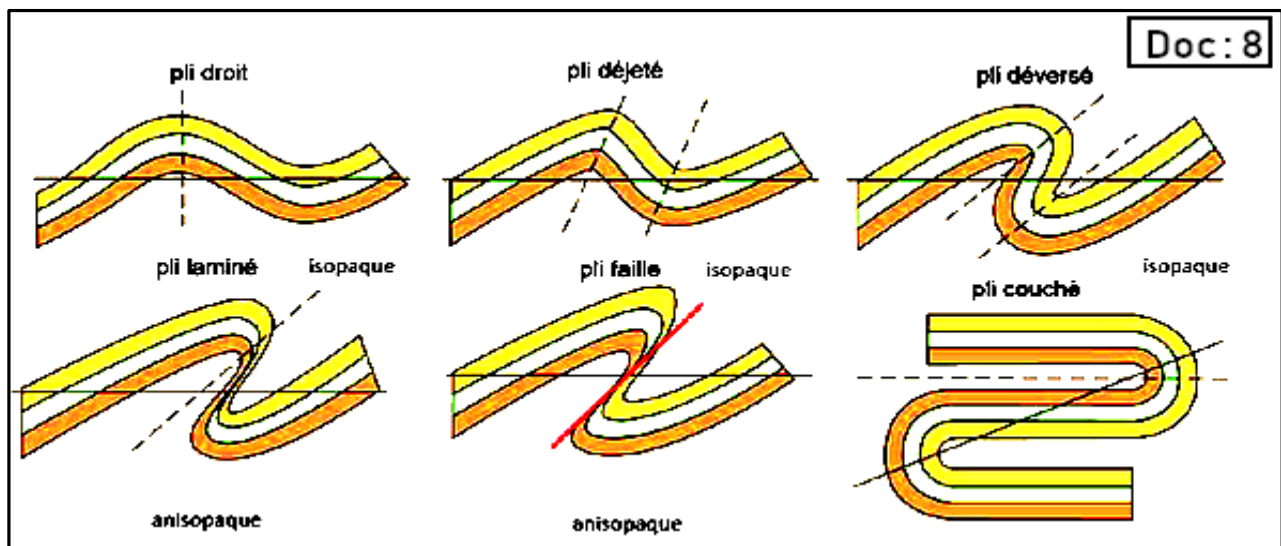
1-1. Définition

1- D'après le document 7 donnez une définition aux plis ?

2- dégager les éléments d'un pli ?



1-2. Classification des plis



Si l'épaisseur des couches est conservée durant la déformation, le pli est dit isopaque (même épaisseur.) Pour caractériser totalement la forme d'un pli on ajoute à ce critère d'inclinaison, la notion d'étirement (ou laminage) des flancs pouvant conduire à la rupture de la continuité des couches entre deux axes de plis. Un pli dont les flancs sont étirés est dit anisopaque.

Ainsi, le pli laminé est un pli déversé anisopaque. Le pli faille est un pli laminé dont l'étirement extrême des couches dans le plan axial a conduit à la rupture. Il en résulte l'apparition d'une faille inverse, d'où le terme de pli faille.

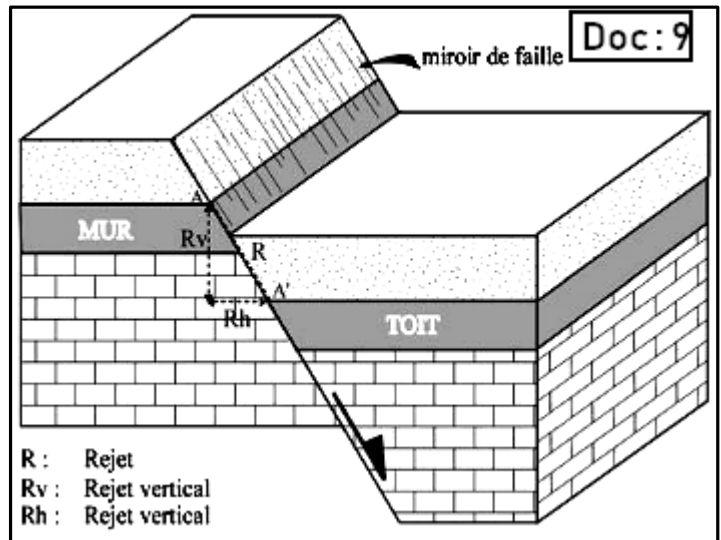
- Dégagez du document 8 les critères de base de la classification des plis

2- Les déformations discontinues : cassantes : les failles :

2-1. Définition

1- D'après le document 9 donnez une définition aux failles ?

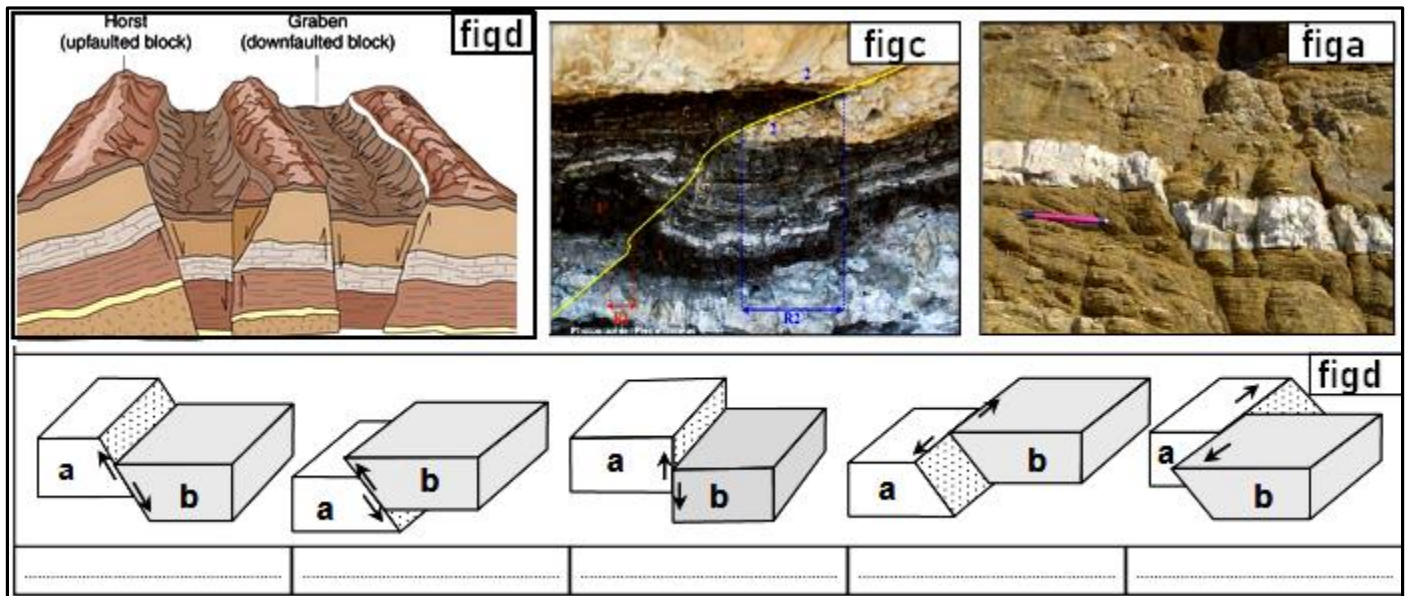
2- dégager les éléments d'une faille ?



2-2. Les types de failles :

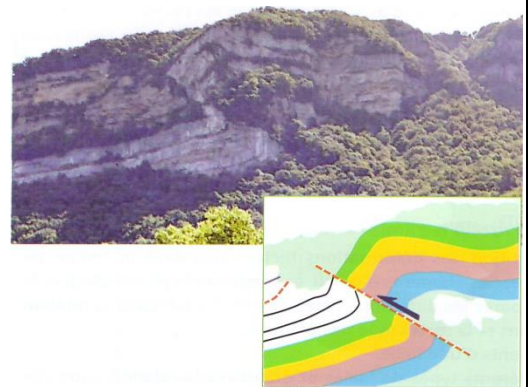
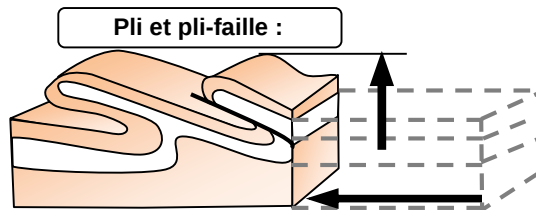
1. Décrire chaque type de faille et établissez la relation entre ces déformations et les contraintes tectoniques ?

2. Schématiser une faille normale et autre inverse

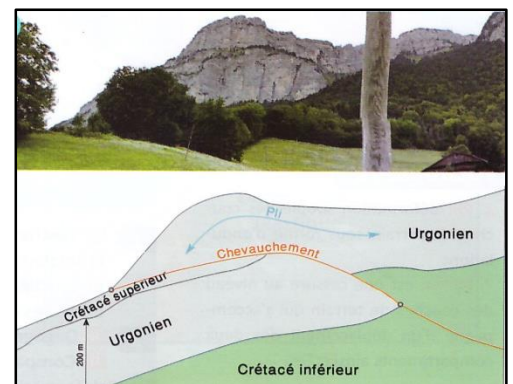
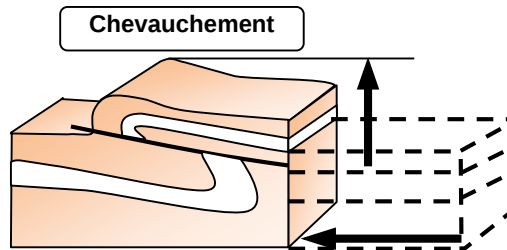


3- Les déformations intermédiaires : chevauchement et nappe de charriages :

Doc 11 : **Pli-faille et son interprétation** : pli déversé dont le flanc court est rompu. Cette rupture du flanc court résulte du déversement du pli, qui soumet ce flanc à un étirement, du fait que le pli anticlinal, supérieur, avance par rapport au synclinal sur lequel il se déverse.

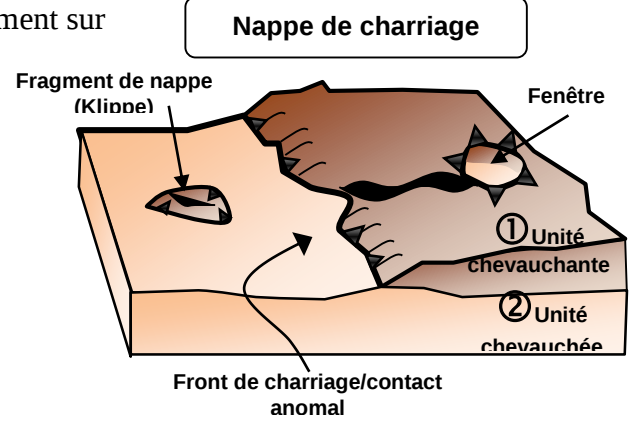


Doc 12 : **Chevauchement dans les Alpes avec schéma interprétatif** : d'une manière générale, les déformations tectoniques dans les chaînes de montagnes sont complexes et associées. Dans ce cas, l'association d'un pli et d'une faille a donné un chevauchement.



Doc 13 : Lorsqu'un chevauchement provoque le recouvrement sur une longue distance d'un terrain (resté sur place) par une nappe de charriage, ce terrain est qualifié d'autochtone alors que les unités charriées sont qualifiées d'allochtones.

① allochtone, ② autochtone,



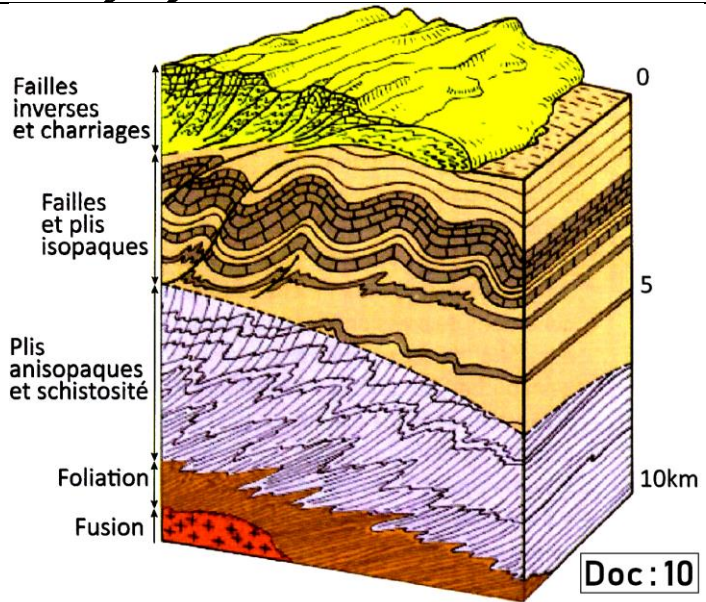
4- Répartition des déformations selon la profondeur

On se basant sur le document 10 ; Compléter les phrases suivant :

◆ Les déformations des roches diffèrent selon leur structure et leur position dans la lithosphère. Ces déformations peuvent être ----- à la surface (plis isopaques, failles et charriages) ou ----- en profondeur (Plis anisopaques et schistosité)

◆ Anticlinal d'un pli isopaque (déformation souple) dans les alpes causé par des contraintes tectoniques -----.

◆ Plis anisopaques accompagnés de schistosité témoignant d'une déformation ductile en profondeur.



Bilan :

Unité 4

Les chaînes de montagnes récentes et leur relation avec la tectonique des plaques et les déformations tectoniques qui les accompagnent

Introduction

La partie externe de la Terre, la lithosphère, est formée de plaques rigides qui reposent sur l'asthénosphère, moins rigide.

Ces plaques se déplacent : elles s'écartent au niveau des dorsales océaniques où il y a formation de plancher océanique, et elles se rapprochent au niveau des zones de confrontations.

Ces mouvements des plaques assurent la fermeture des océans et aboutissent à la formation de chaînes de montagnes.

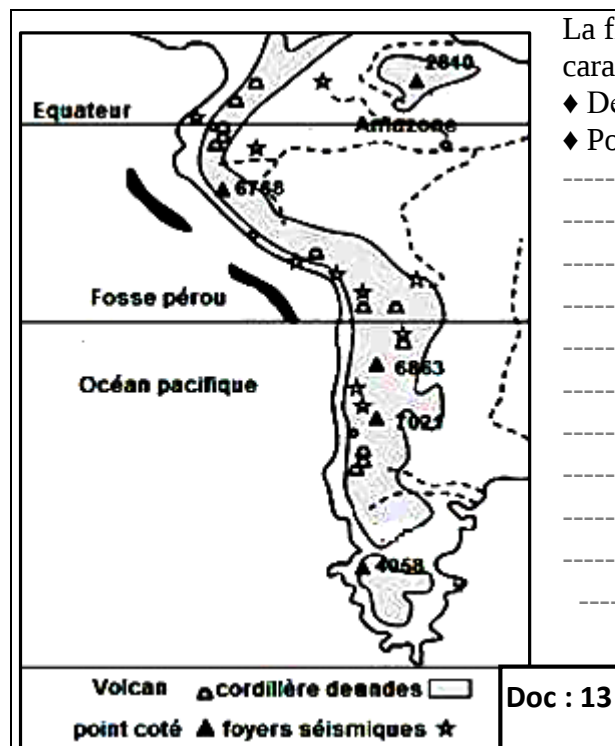
- ♦ Quelles sont les types de chaînes de montagnes récentes ?
- ♦ Quels sont les phénomènes géologiques qui les accompagnent ?

I- Chaînes de subduction : caractéristiques structurales et pétrographiques

Exemple : la cordillère des Andes :

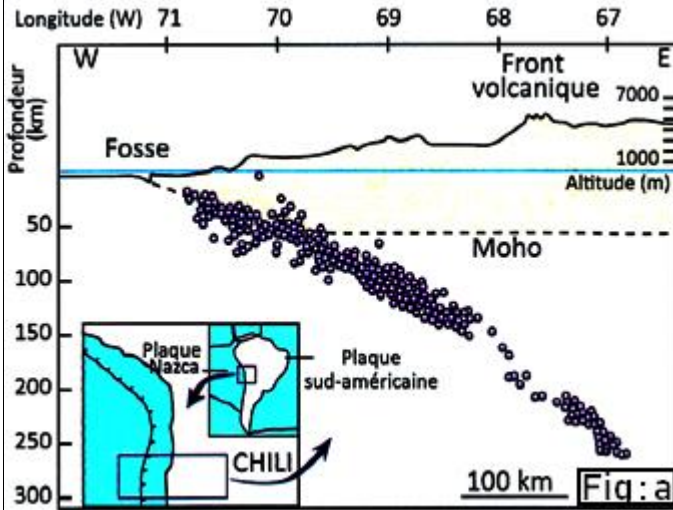
1. les caractéristiques structurales et géophysiques :

a. Données géographique :

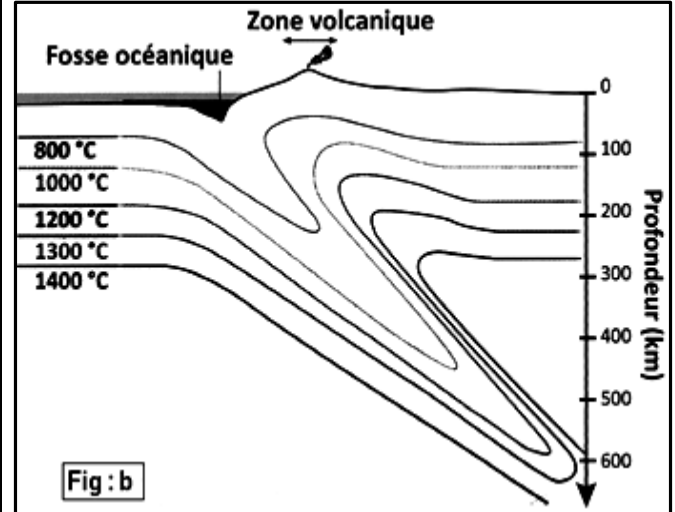


b. Données géophysiques :**Doc 14: Répartition des séismes et anomalies thermiques au niveau des zones de subduction**

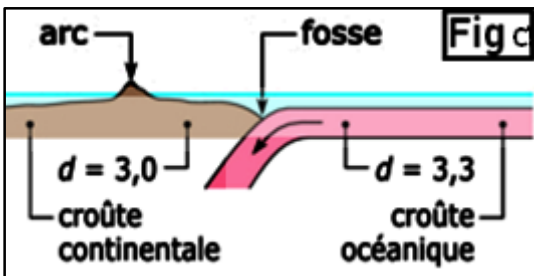
Répartition des foyers sismiques : Dans les zones de subduction, les foyers sismiques sont répartis dans un volume peu épais, assimilable à un plan incliné : plan de Bénéioff. Ce plan part à l'aplomb de la fosse océanique et s'enfonce sous le continent.



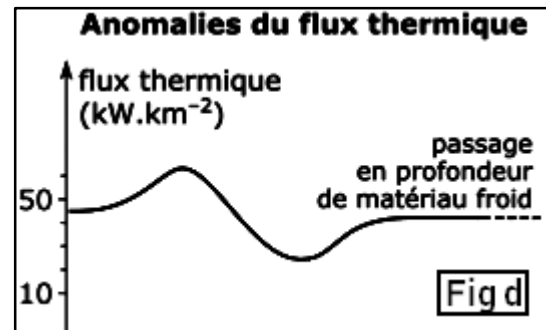
Modèle des isothermes en zone de subduction : En utilisant les mesures de flux thermique au niveau des zones de subduction, les géophysiciens proposent un modèle des variations de températures en profondeur.



La Densité de la lithosphère océanique et celle de la lithosphère continentale



La fig d montre la variation du flux thermique (quantité de chaleur qui se propage dans une unité de surface et par unité du temps) au niveau de la zone de subduction

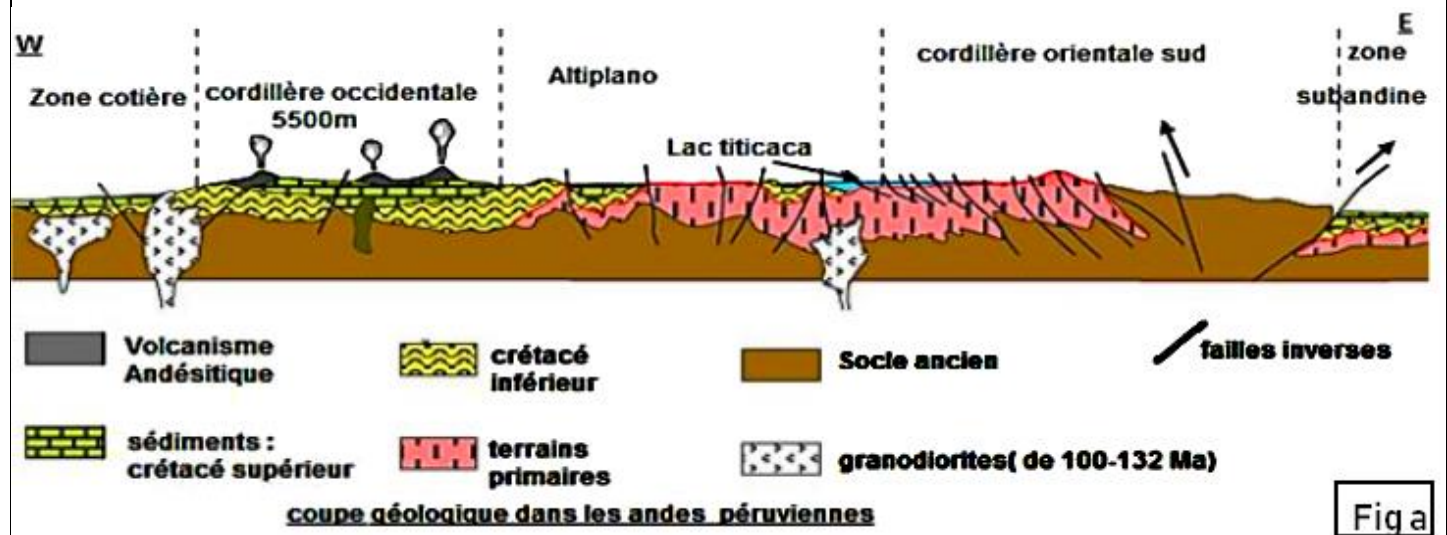


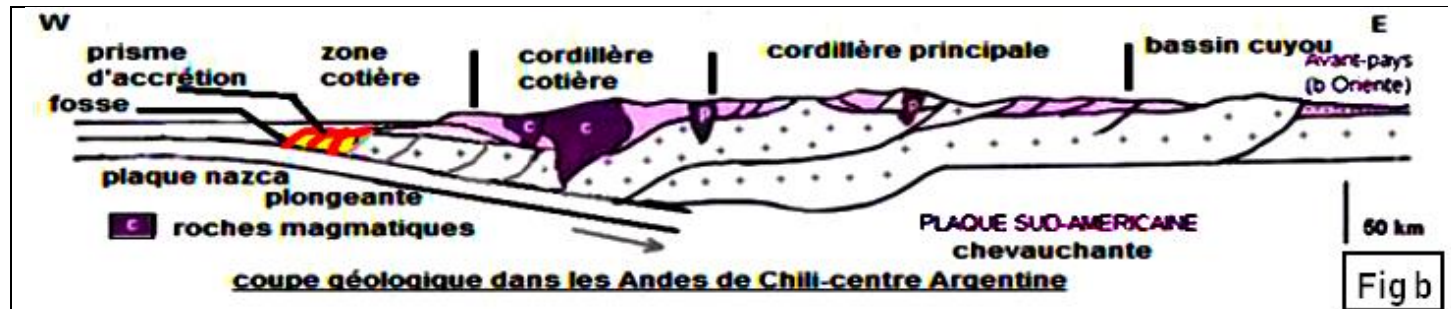
- 1- Décrire à partir de la répartition des foyers séismiques ?
- 2- décrire les anomalies thermiques observées au niveau de la zone de subduction et donner une explication au d'anomalie thermique négative le long du plan de subduction ?
- 3- on s'appuyant sur la figure (c) décrire la densité des croûtes au niveau de la zone de la subduction ?
- 4- donner une interprétation avec schéma explicatif ?

2- Les caractéristiques tectoniques et pétrographiques :

a- analyse de coupe géologique :

Dac 15: coupes géologiques l'une dans les Andes péruviennes (fig a) et l'autre dans les Andes de Chili-centre (fig b) qui représentent quelques caractéristiques tectoniques et pétrographiques propres aux chaînes de subductions.





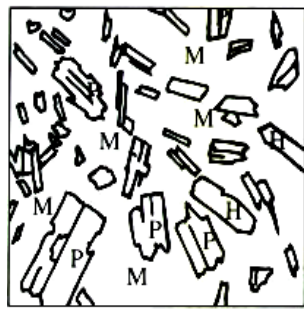
1- A partir de l'analyse des coupes géologiques dégagez les caractéristiques (marqueurs) tectoniques et pétrographiques des zones de subductions ?

2- sachant que le prisme d'accrétion est une structure géologique caractérisée par l'Accumulation des terrains océaniques superficiels qui, ne passant pas dans la subduction. Par une série de schémas expliquez comment se forme le prisme d'accrétion ?

b- Caractéristiques pétrographique des roches magmatiques associées aux chaînes de subduction :

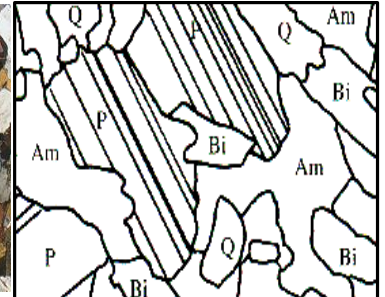
Doc 16 : L'étude des échantillons de roches prélevées dans une zone de subduction, et des lames minces correspondantes observées au microscope polarisant donne des informations sur la nature et la taille des minéraux présents dans les roches, la structure de la roche. La nature des minéraux nous donnera une indication sur la composition chimique du magma. Suivant la structure de la roche, on aura des informations sur les conditions de refroidissement du magma à l'origine de ces roches et donc on en déduira la localisation de la formation de la roche.

L'andésite : lame mince et croquis d'interprétation



P : feldspaths plagioclases ; H : hornblende (amphibole) ;
M : verre + microlites

La granodiorite : lame mince et croquis d'interprétation



Q : quartz ; **P** : feldspath plagioclase ; **Am** : Amphibole (minéral hydraté) ; **Bi** : biotite (= mica noir)

- comparer la structure et la composition minéralogique des échantillons et lames minces proposées
- faire le lien entre structure de la roche et vitesse de refroidissement
- faire le lien entre vitesse de refroidissement et localisation des roches étudiées
- faire le lien entre composition minéralogique et origine magmatique des roches

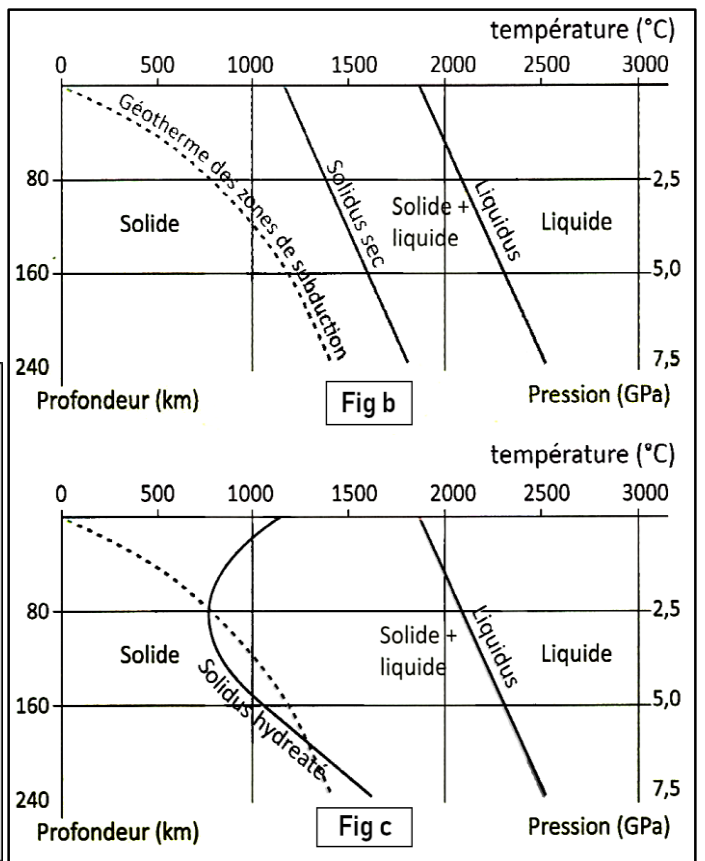
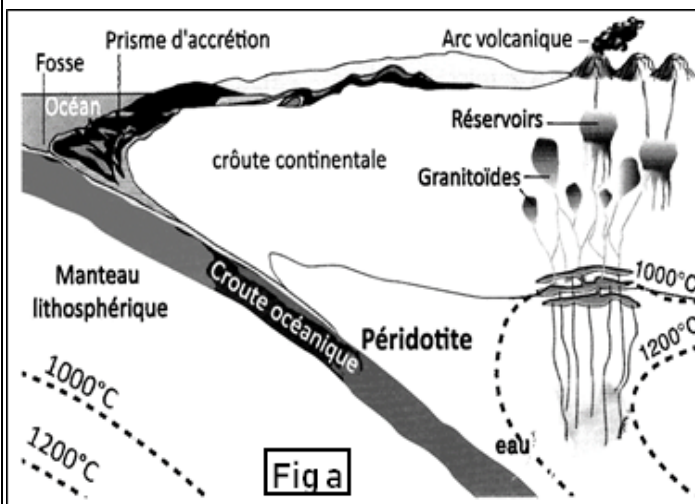
Réponses

[illegible]

Conclusion

c- L'origine du magma des zones de subduction :

Doc 17 : Conditions expérimentales de la fusion partielle de la péridotite : les diagrammes ci-contre représentent l'évolution de la température en fonction de la profondeur à la verticale de l'arc magmatique d'une zone de subduction. La courbe du solidus représente les conditions de température et de pression de début de fusion partielle de la péridotite en milieu sec (fig b) et en milieu hydraté (fig c).



Terminologie :

- **Gradient géothermique ou géotherme** : désigne l'évolution et l'augmentation de la température en fonction de la profondeur et il varie selon les régions en moyen $3.3^{\circ}\text{C}/100\text{m}$
- **Solidus** : courbe séparant le domaine où n'existe que du solide de celui où coexistent solide et liquide. (À température croissante, croiser le solidus revient à initier une fusion partielle).
- **Liquidus** : courbe séparant le domaine où coexistent solide et liquide de celui où n'existe que le liquide (fusion totale).

1- d'après la figure (a) dégagez les conditions de fusion partielle de la péridotite au niveau des zones de subduction

2- D'après le document 17 comment explique-t-on la fusion partielle de la péridotite au niveau de la zone de subduction ? puis le devenir du magma andésitique ?

Réponses

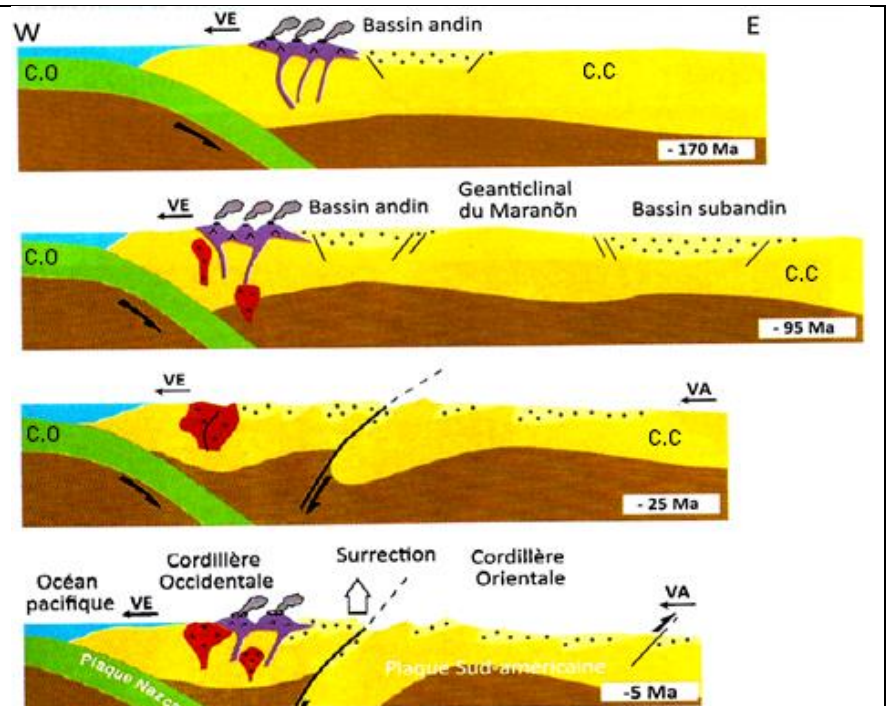
1- Reconstitution des étapes de formation d'une chaîne subduction

a- Exercice intégré

Doc 18 : Evolution géodynamique des Andes nord péruviennes (subduction océanique). croûte océanique (CO), croûte continentale (CC).

Les flèches figurent les vitesses de déplacement ; VE : extension induite par la subduction océanique sur la bordure de la plaque Amérique du Sud (subduction érosion), VA : vitesse de déplacement du continent Sud-américain. A partir de 30Ma $VA - VE > 0$, la subduction continentale commence à fonctionner, les Andes orogéniques se construisent.

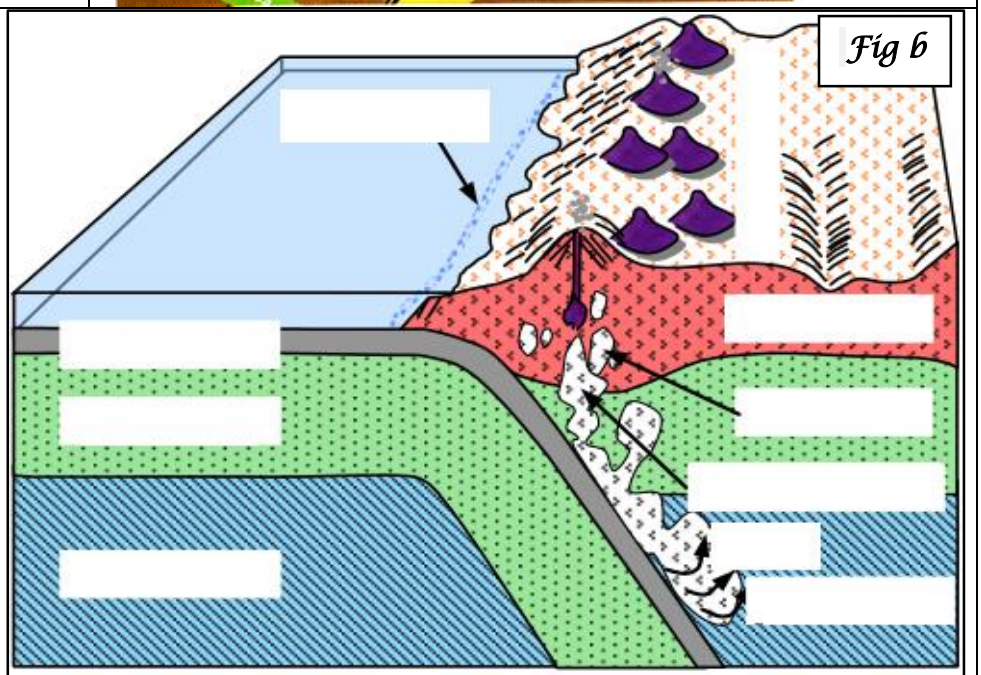
(Bourgeois et Janjou, 1981).



1- complétez la légende du modèle explicative présenté dans la figure b

2- a- Dégagez les événements qui ont conduit à la formation de la chaîne de subduction.

b-Décrivez la structure de la chaîne de subduction et mettez en relation la genèse de cette chaîne et la



I- Les chaînes d'obduction

1- Généralités

Le rapprochement des plaques lithosphériques se traduit aussi par la surrection de chaînes de montagnes d'obduction caractérisées par le chevauchement de la croûte océanique sur le continent.

Question : quelles sont les caractéristiques structurales et pétrographiques de ces chaînes ?

2- Les caractéristiques structurales pétrographiques des chaînes d'obduction :

a. Exercice intégré :

Doc 19 : la chaîne d'Al Hajar

Le document 19 présente la localisation de la chaîne d'Al Hajar «montagnes de pierre» avec ses ophiolites. Il s'agit de la plus importante chaîne montagneuse de la péninsule Arabe.

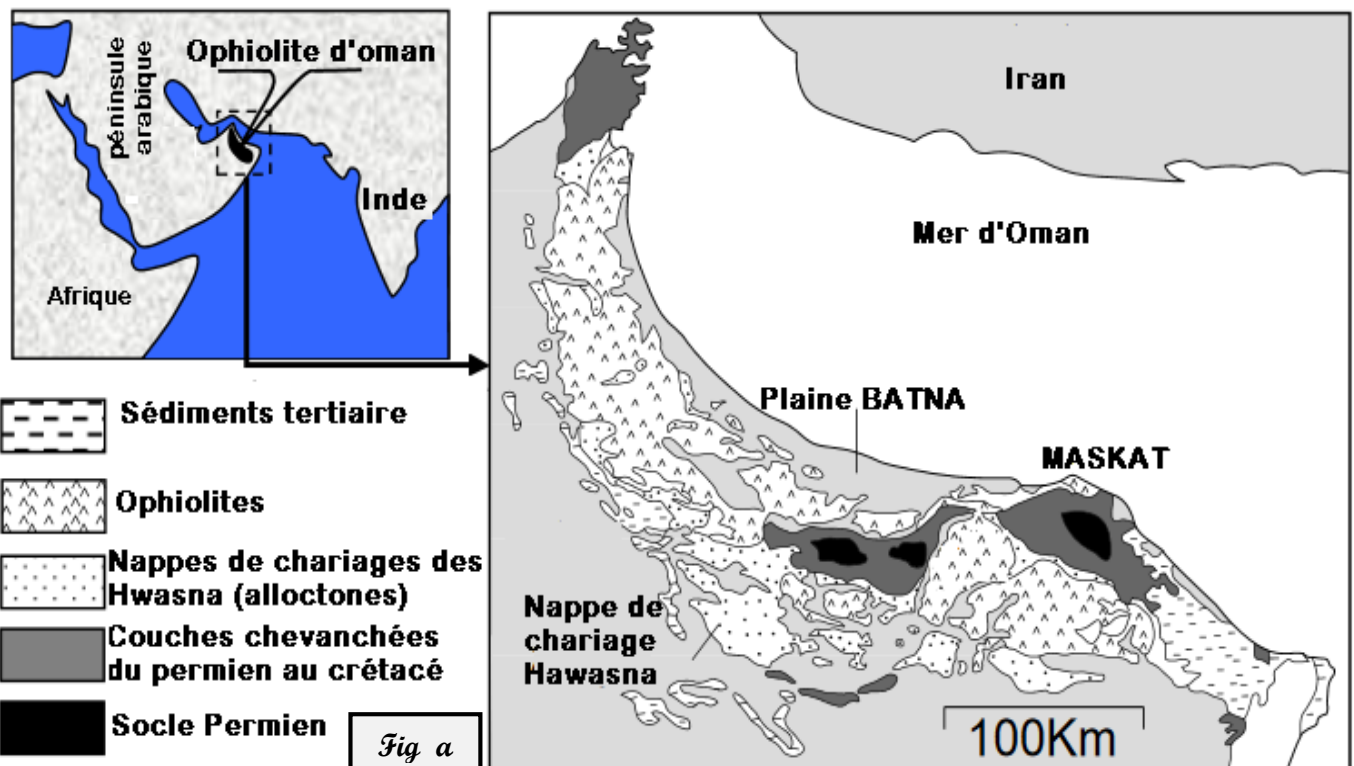
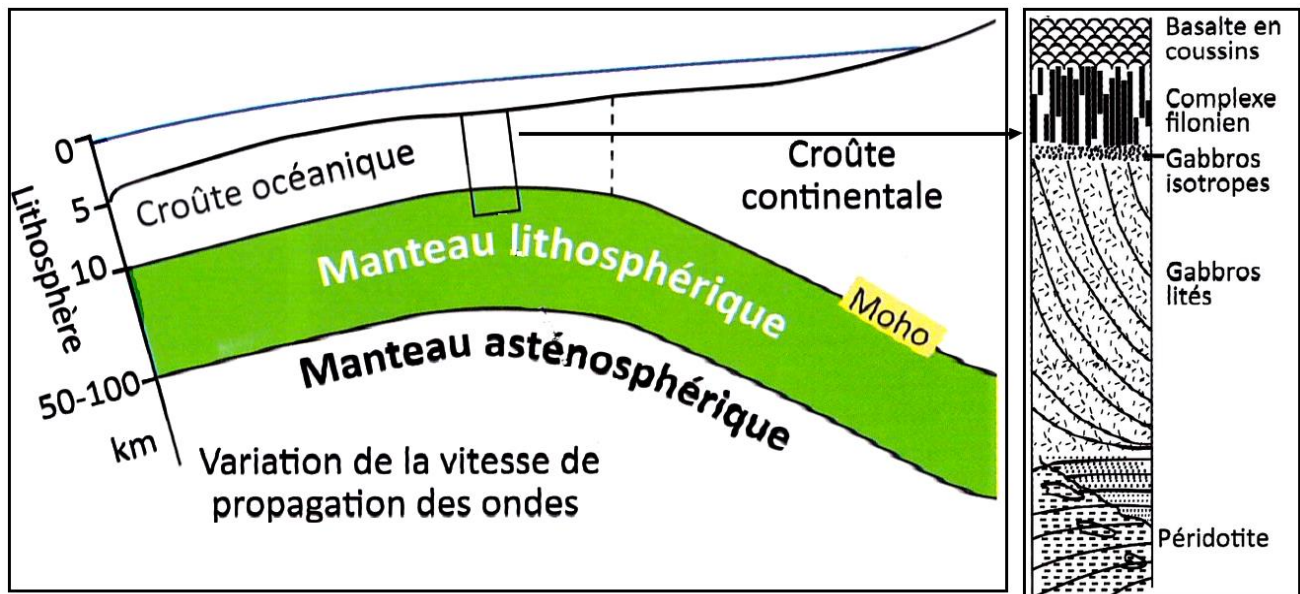


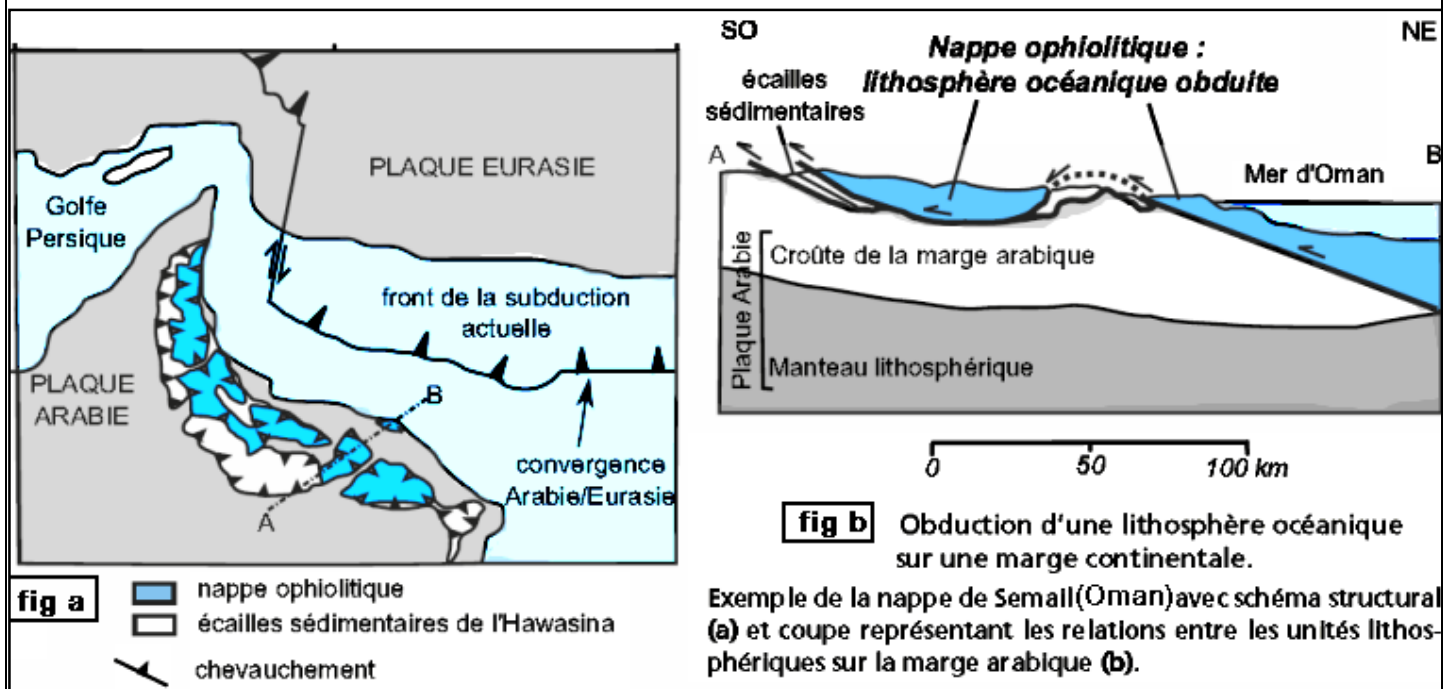
Fig b : L'ophiolite d'Oman se caractérise par la surrection de la discontinuité de Moho qui existe normalement à une profondeur qui dépasse 5 km. La figure (b) présente certaines caractéristiques pétrographiques de la lithosphère océanique.



1- Décrivez la répartition de la chaîne d'Al Hajr et dégagez les caractéristiques (marqueurs) structuraux et pétrographiques de cette chaîne ?

Doc 20 : Obduction d'une lithosphère océanique sur une marge continentale :

Exemple de la nappe de Samail (Oman) avec schéma structural et coupe (A-B) représentant les relations entre les unités lithosphériques sur la marge arabique.



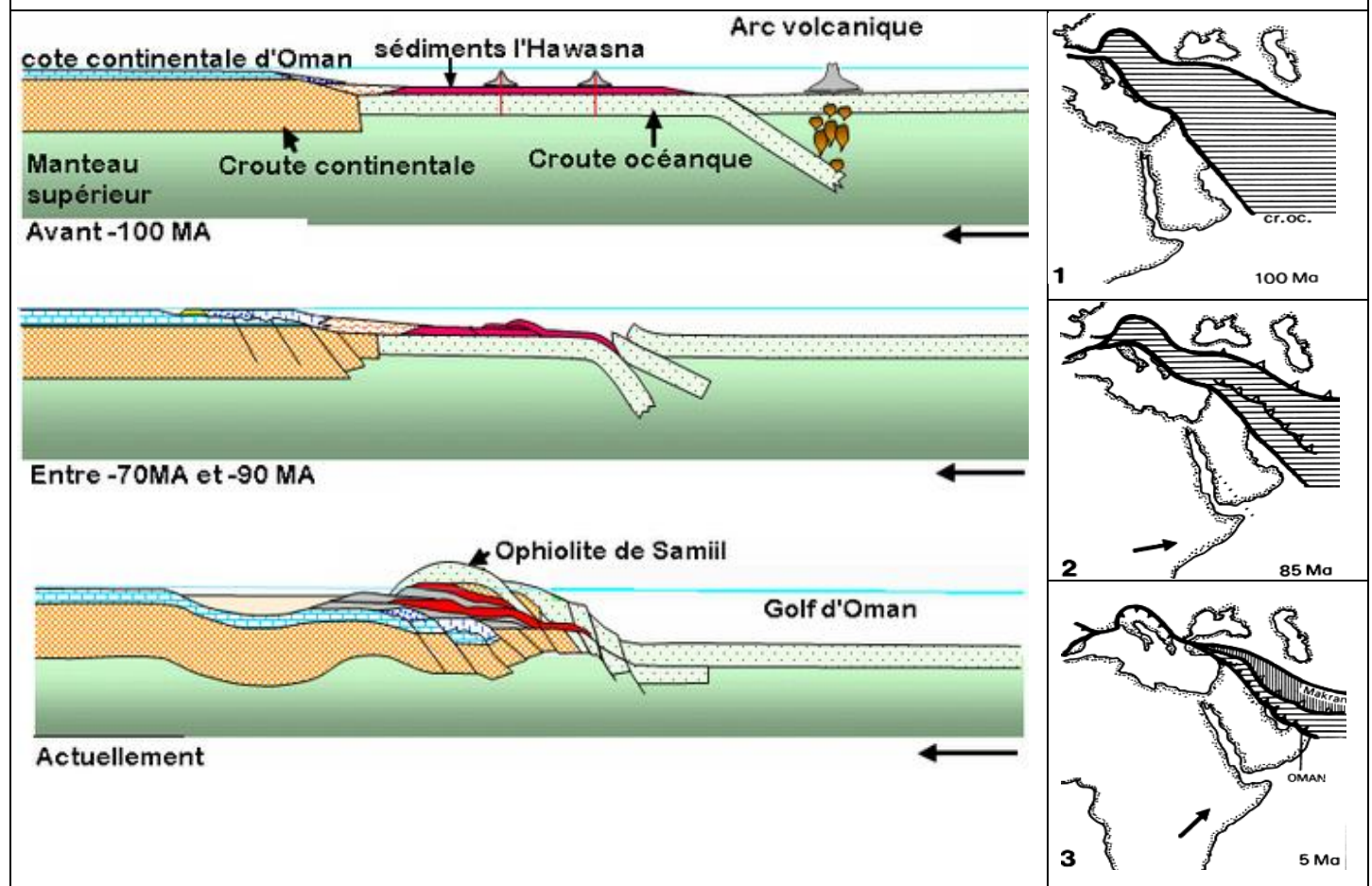
2-On se basant sur le document 20 ; dégagez les événements qui ont conduit à la formation de chaîne d'obduction d'Oman

3- Les étapes de la formation des chaînes de montagnes d'Oman :

Doc 21 : Evolution de la chaîne d'Al Hajar à Oman

Les schémas qui suivent illustrent les grandes étapes de la formation de la chaîne de montagnes d'Al Hajar à Oman.

Décrivez la genèse de cette chaîne de montagnes et sa relation avec la tectonique des plaques ?



II- Les chaînes de collisions : Himalaya

Le rapprochement des plaques lithosphériques se traduit aussi par la surrection de chaînes de montagnes de collision caractérisées par la confrontation de deux plaques lithosphériques continentales.

♦ Quelles sont les caractéristiques structurales et pétrographiques de ces chaînes de montagne ?

1- Les caractéristiques structurales et pétrographiques de la chaîne de collision : Exemple Himalaya :

a. Caractéristiques structurales :

Doc 22 : C'est un ensemble de chaînes de montagnes s'étirant sur plus de 2 400 km de long et large de 250 à 400 km, qui sépare le sous-continent indien du plateau tibétain dans le sud de l'Asie (fig a). Elle couvre une aire d'environ 600 000 km².

L'Himalaya abrite 14 sommets de plus de 8000 m d'altitude dont l'Everest qui culmine à 8 850 m.

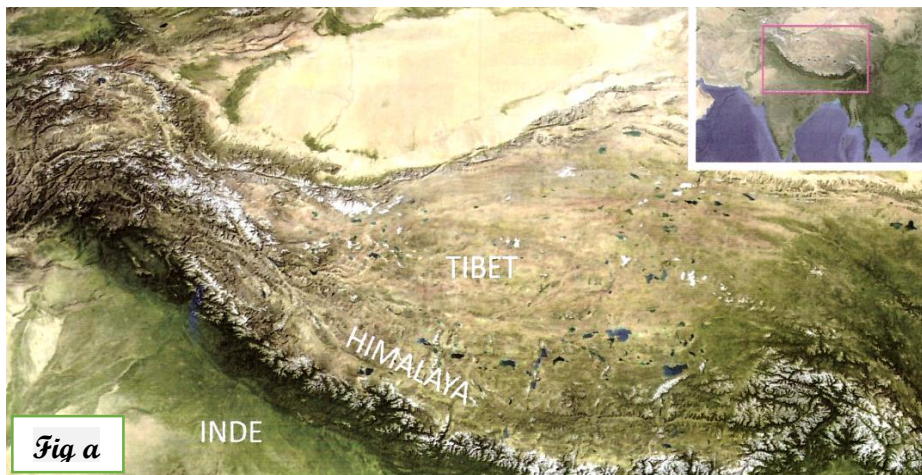
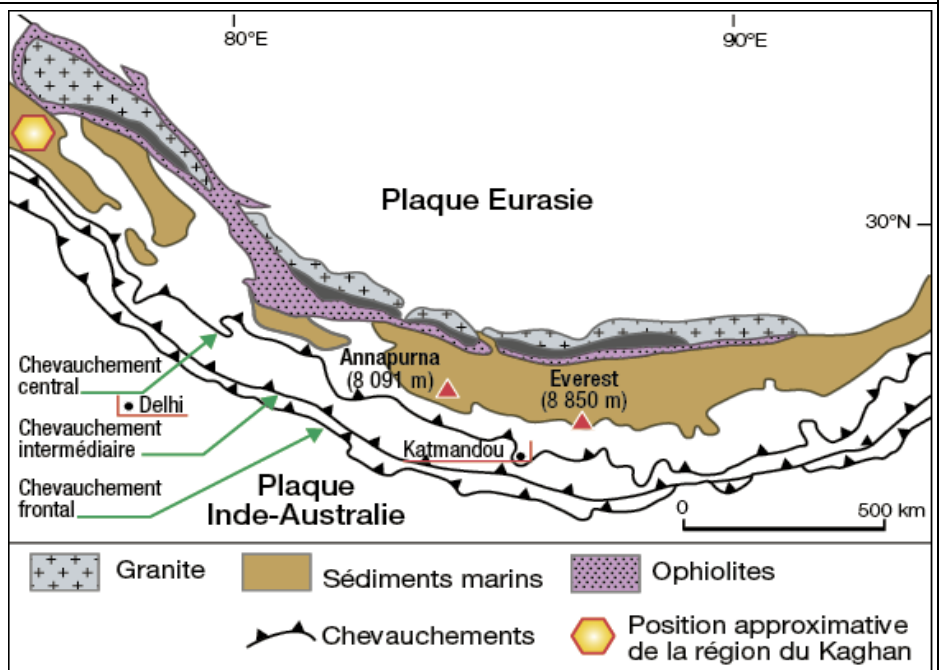


Fig b : Carte géologique simplifiée de la région himalayenne

Décrivez la localisation de l'Himalaya ainsi que ces caractéristiques morphologiques.

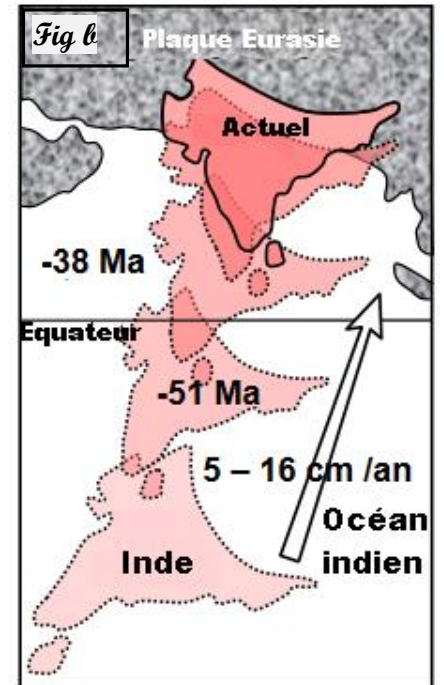
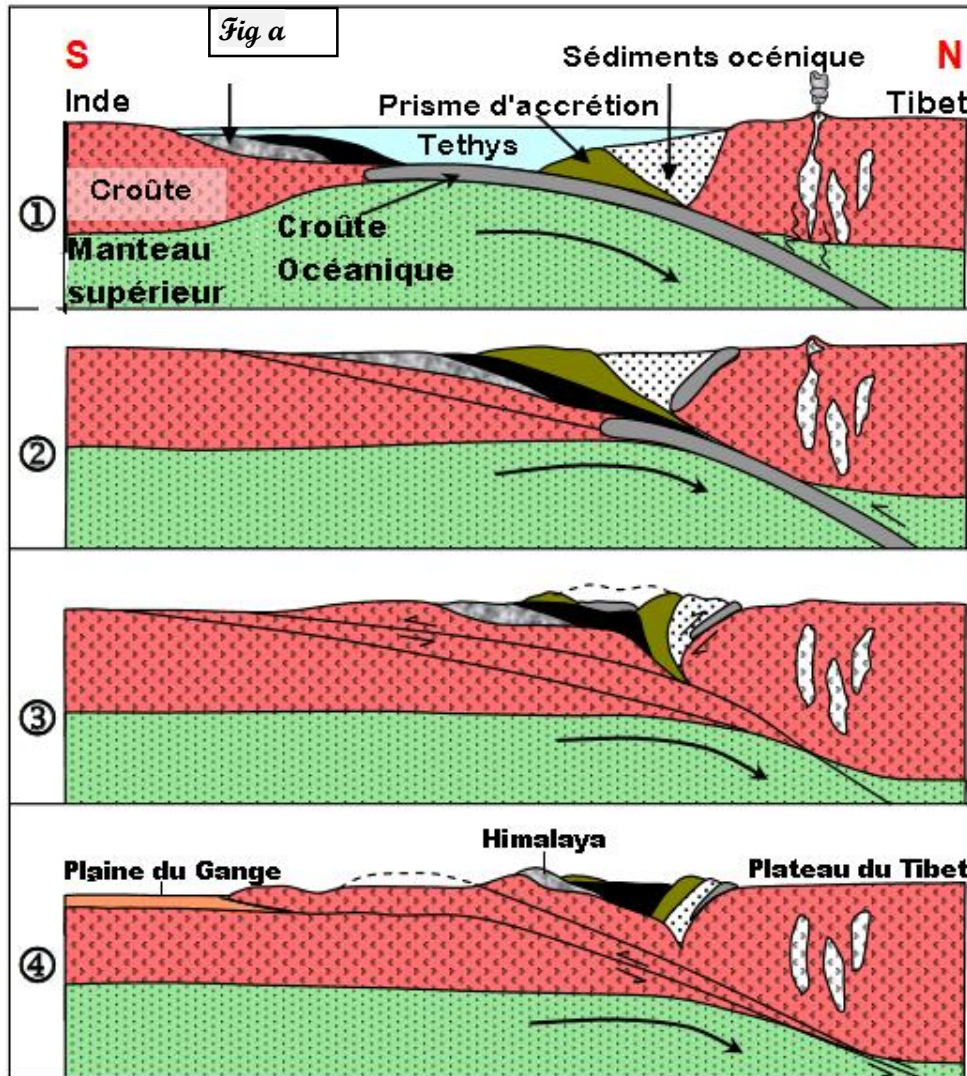
Réponses :



2- Les étapes de formation des chaînes de collision et leur relation avec la tectonique des plaques :

a. Etapes de formation :

Doc 24 : La chaîne de l'Himalaya renferme des sédiments marins et des structures tectoniques indicatrices de grandes compressions. Le document suivant présente un modèle explicatif de la formation de cette chaîne de montagnes



Apartir des analyses précédentes et des données des fig (a) et (b) ; décrire la genèse de la chaîne de montagnes de l'Himalaya ?

Réponses

Unité
4

Le métamorphisme et sa relation avec la tectonique des plaques

Cours
2

Introduction

Dans Les chaînes de montagnes, une grande partie de roches change de structure et de minéralogie à l'état solide en profondeur suite aux changements des conditions de pression et de température à l'intérieur du globe. Il s'agit de roches métamorphiques.

♦ Quelles sont les caractéristiques des roches métamorphiques ?

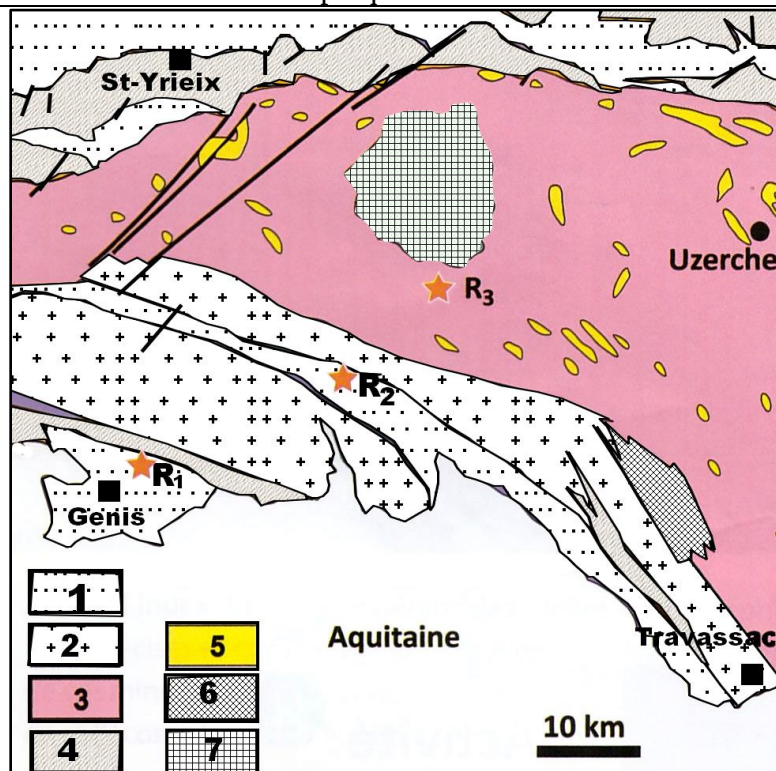
♦ Quelle est leur relation avec la tectonique des plaques ?

I- Caractéristiques structurales et minéralogiques des roches métamorphiques dans les zones de collision

1- Observations de quelques roches métamorphiques dans les chaînes de collision

a- Etude d'une carte géologique simplifiée (la région d'Uzerche (France))

Dac 1 : Cette région présente une partie des affleurements des roches métamorphiques de la série du bas Limousin. Elle est caractérisée par la présence de batholites de granite et de diorite qui accompagnent une série de roches métamorphiques.



Légende

Roches métamorphiques

1. Schistes et micaschistes
2. Quartzites sombres
3. Gneiss gris du bas Limousin
4. Gneiss clairs
5. Eclogites

Roches magmatiques

1. Granite
2. Diorite

Décrivez la répartition des roches métamorphiques dans la région d'Uzerche. proposez une hypothèse expliquant la présence des roches métamorphiques dans ces chaînes de montagnes ?

Réponse

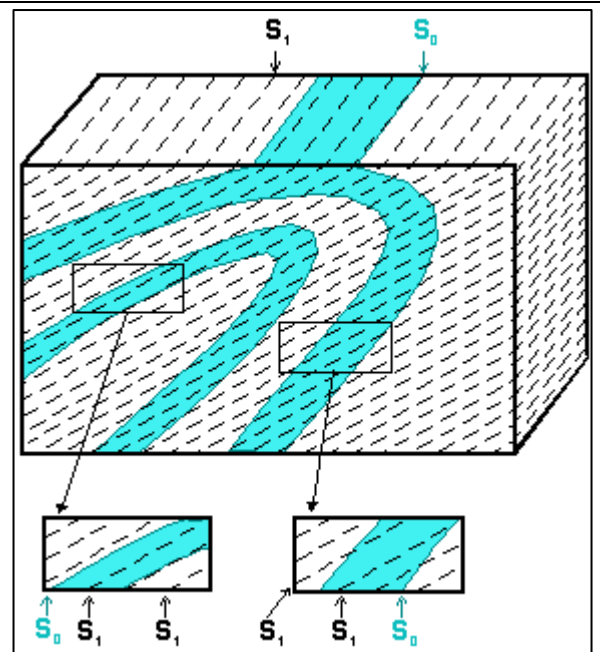
b- Structures métamorphiques (Schistosité et Foliation)

Doc 2 : Structures métamorphiques

Une stratification qui est issue des phénomènes de sédimentation. Elle est perpendiculaire aux forces en jeu (pression lithostatique). Elle concerne le débit de la roche.

Une schistosité où la roche se débite en feuillets de même composition minéralogique. Cette disposition apparaît à partir de 5 km de profondeur. Elle peut apparaître lors de la diagenèse (pression lithostatique) mais elle est souvent à relier aux contraintes tectoniques. Le plus souvent la schistosité est perpendiculaire ou oblique aux forces en jeu.

Une foliation où certains minéraux de la roche se transforment. Les nouveaux minéraux qui apparaissent s'aplatissent et s'orientent selon la direction de la schistosité. Ils peuvent se regrouper sous forme de lit. Le front de foliation serait situé vers 10 Km de profondeur. (Micaschistes, gneiss).



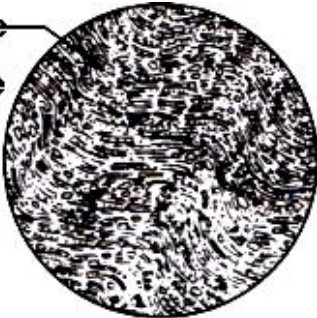
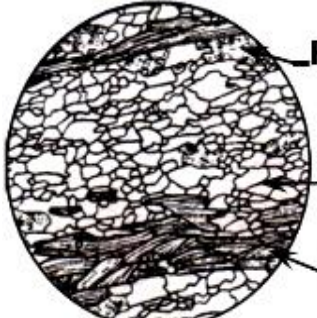
S0= Stratification

S1= Schistosité

2- Structure microscopique et composition minéralogique des roches métamorphiques dans les zones de collision

a- Observation au microscope polarisant de roches métamorphiques (schiste, micaschiste et gneiss)

Doc 3 : Observation au microscope polarisant de roches métamorphiques (schiste, micaschiste et gneiss)

Schiste	Micaschiste	Gneiss
Chlorite Séricite 	Quartz Biotite 	Feldspath Quartz Biotite 

Lame mince d'un schiste vert avec schéma interprétatif : on y trouve des minéraux de séricite à Couleurs chaudes et du chlorite de couleur verte.

Lame mince d'un micaschiste avec schéma interprétatif : on y trouve des lits de biotite et de mica et des lits de quartz à couleurs éteintes.

Lame mince d'un Gneiss avec schéma interprétatif : Il est formé principalement par l'alternance de minéraux sombres (mica) et de lit clairs de quartz et de feldspaths,

♦ décrire l'aspect de chaque type de roche présenté dans le document

♦ Comparez la microstructure et la composition minéralogique des trois roches ?

Réponses

b- Composition chimique de quelques roches métamorphiques et formules chimiques de quelques minéraux qui les composent.

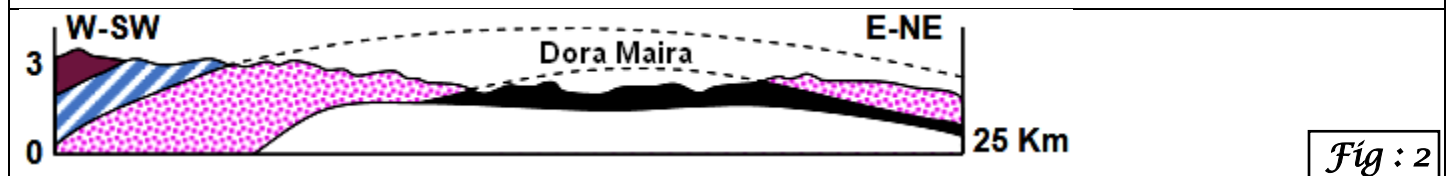
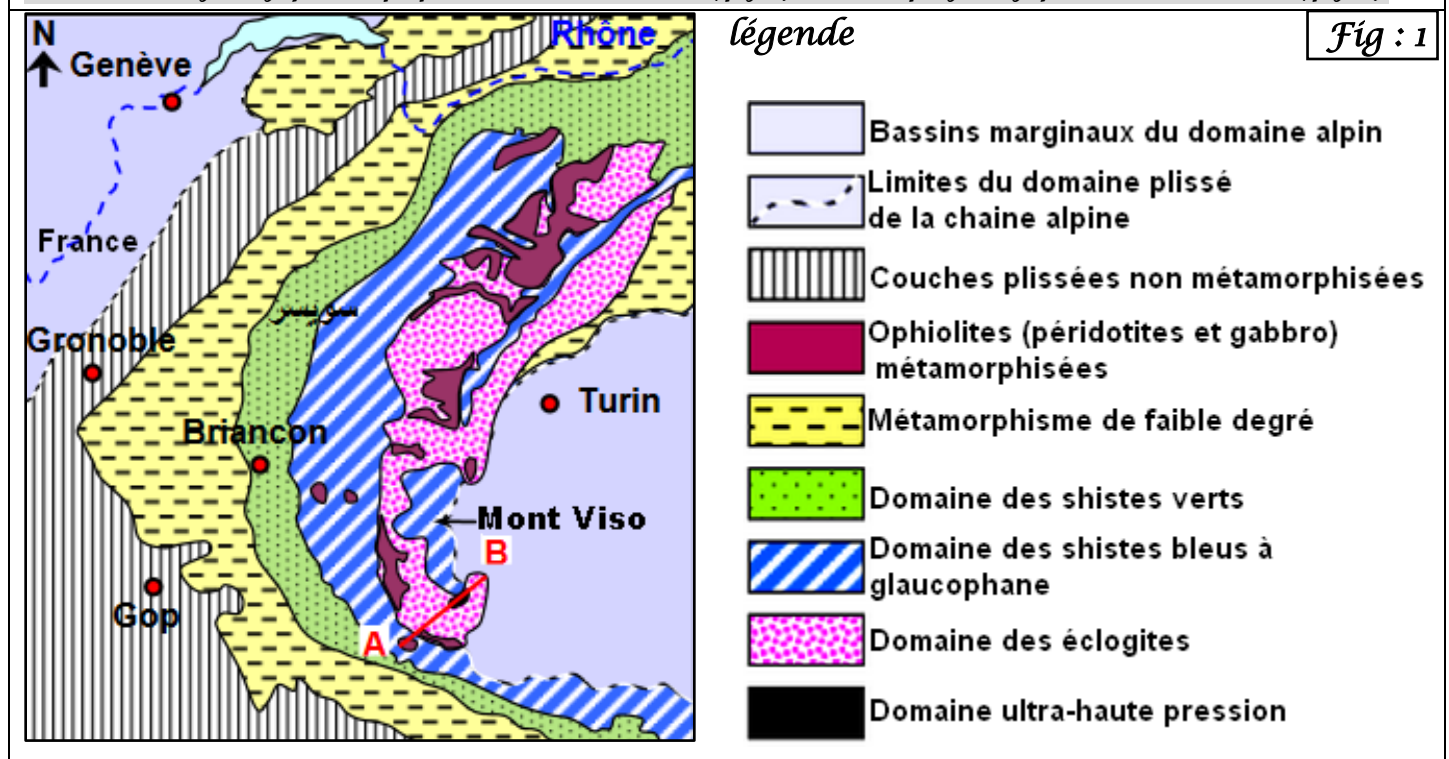
Doc 3 : Composition et formules chimiques de quelques roches métamorphiques

Eléments chimiques	Roches métamorphiques			Minéraux	Formule chimique
	Schiste	Micaschiste	Gneiss		
SiO ₂	60,2	60,9	68,7	Plagioclase	(Na,Ca)(Si,Al ₃)O ₈
Al ₂ O ₃	20,9	19,1	16,2	Augite	(Ca,Mg,Fe) ₂ (Si,Al) ₂ O ₆
Fe ₂ O ₃	2,8	1,2	0,7	Epidote	Ca ₂ FeAl ₂ (Si ₂ O ₇)(SiO ₄)(O,OH
FeO	3,7	4,1	4,1	Glaucophane	Na ₂ (Mg,Fe ²⁺) ₃ Al ₂ Si ₈ O ₂₂ (OH) ₂
MgO	0,85	1,4	1,3	Jadéite	Na,Al (Si ₂ O ₆)
CaO	0,55	1,7	1,8	Grenat	(Fe, Mg,Ca) Si ₃ Al ₂ O ₁₂
Na ₂ O	2,45	2,1	3,8	Quelques minéraux de silicates d'alumine des roches métamorphiques et leurs formules chimiques : ces minéraux sont caractérisés par leur composition chimique générale Al ₂ SiO ₅ d'où leur nomination de silicates d'alumine	
K ₂ O	4,1	3,7	3		
Composition chimique de roches métamorphiques(en %)					
♦ Dégager le caractère commun des roches métamorphiques et proposez une hypothèse sur leur origine ?					

II- Caractéristiques structurales et minéralogiques des roches métamorphiques dans les zones de subduction

1- Affleurement des roches métamorphiques alpines

Doc 3 : Carte géologique simplifiée de la Dora Maira (fig 1) avec coupe géologique selon l'axe AB (fig 2)



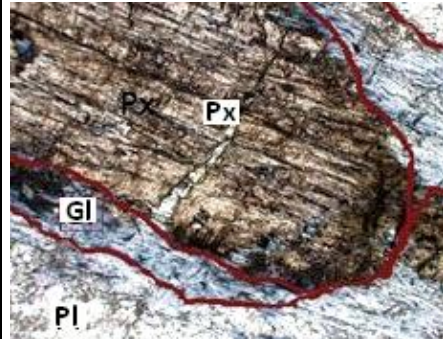
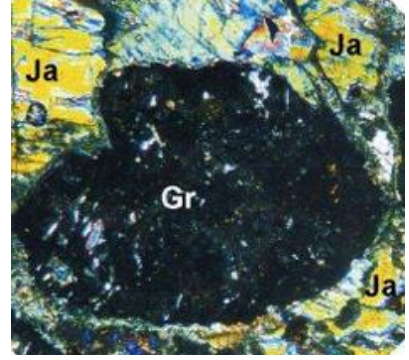
♦ **Décrivez** la répartition des roches métamorphiques dans la région de Dora Maira. **Utilisez** dans cette description la carte et la coupe géologique.

♦ En utilisant vos connaissances sur les caractéristiques géodynamiques des zones de subduction, **proposez** une hypothèse expliquant les transformations qu'a subies le plancher océanique qui affleure dans cette région.

2- Caractéristiques structurales et minéralogiques des roches métamorphiques dans les zones de subduction

Doc 4 : Caractéristiques structurales et minéralogiques des roches métamorphiques dans les zones de subduction

Fig a : Observation au microscope polarisant de roches métamorphiques (Schiste bleu et Eclogite)

Gbbro	Schiste bleu	Eclogite
		
Pl : Plagioclaz , Ol : Olivine , Py : Pyroxène , Gl : Glaucophane , Gr : Grenat , Ja : Jadéite		

Les gabbros : sont des roches dont la couleur principale est le vert foncé. Du point de vue minéralogique, ces roches comprennent plus de 50% de plagioclases. D'autres minéraux comme les pyroxènes, la hornblende, la biotite ou l'olivine peuvent être également présents.

Schiste bleu : ou schiste à glaucophane est une roche métamorphique caractérisée par la présence de glaucophane (couleur bleue) et de mica blanc

Eclogite : roche métamorphique (d'origine basaltique ou gabbroïque) métamorphisée dans les conditions extrêmes. Elle contient du grenat, de la jadéite et de l'omphacite (famille de clinopyroxène) auxquels peuvent s'ajouter différents minéraux accessoires.

Fig b : Composition chimique de roches métamorphiques des zones de subduction (en %)

Formule chimique	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O
pourcentage	47,1	2,3	14,2	11	12,7	9,9	2,2	0,4

♦ Comparez la composition minéralogique de ces roches.

♦ Justifiez à partir des données du tableau que ces roches métamorphiques proviennent de la transformation d'une même roche d'origine ?

Réponses

III- Facteurs du métamorphisme

Les roches métamorphiques accompagnent la formation des chaînes de montagnes où règnent des contraintes tectoniques compressives.

Quelles sont les conditions de formation de ces roches ?

1- Mise en évidence des conditions du métamorphisme

1-1- Effet de la température (L'expérience de Gabriel Auguste Daubrée (1814-1896))

Doc 4 : Mise en évidence des conditions du métamorphisme

Fig a : 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. Les dessins ci-contre résument les données et les résultats de cette expérience.

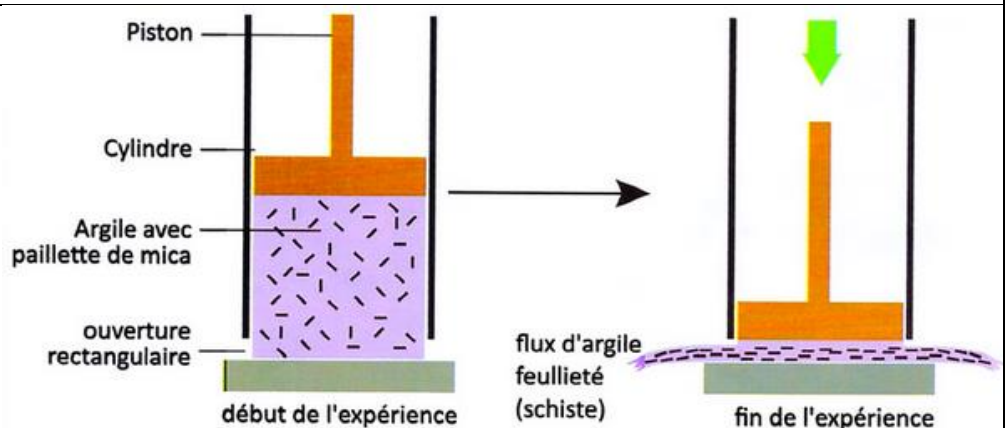
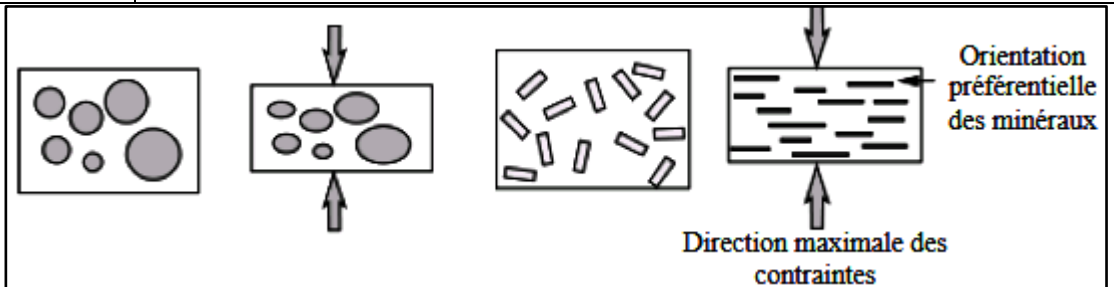


Fig b : roches soumises à des contraintes orientées



En se basant sur les résultats obtenus. **Expliquer** l'effet de la pression sur les roches ?

Réponse :

Effet de la température

Doc 5 : Effet de la température sur les minéraux

Fig a : Lorsque l'argile est soumise à une haute température, on obtient des minéraux issus de réactions chimiques irréversibles (Ex. la poterie).

Les exemples ci-dessous présentent quelques réactions chimiques sous l'effet de la température :

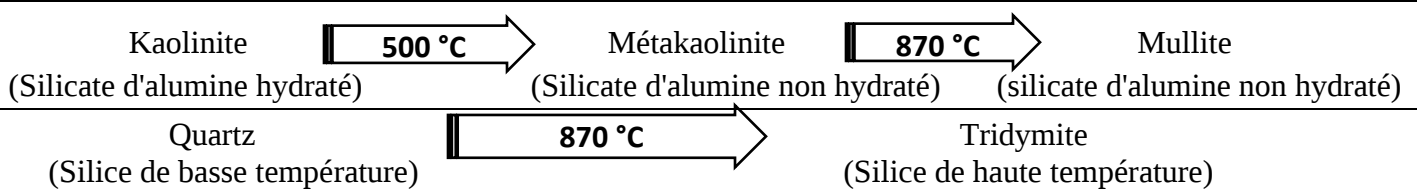
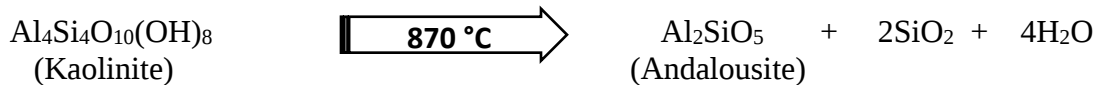


Fig b : Expériences de Winkler et ses collaborateurs

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

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



- à 700°C, débute 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 issu de la fusion partielle.

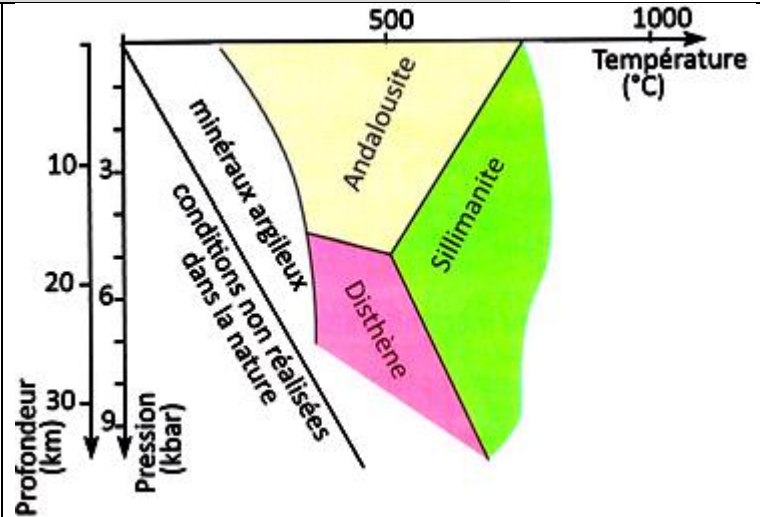
♦ Quelles sont les informations que vous pouvez extraire à partir des données du document 5. A partir de ces informations justifiez l'expression suivante : " les roches métamorphiques résultent d'une transformation minéralogique et structurale à l'état solide".

Réponses

1-2- *Effet de la température et de la pression (travaux Richardson et ses collègues)***Doc 6 : Champs de stabilité des trois silicates d'alumine : andalousite, sillimanite et disthène**

Les travaux expérimentaux ont montré que les trois formes naturelles du silicate d'alumine (andalousite, disthène et sillimanite) n'apparaissent et ne se maintiennent que dans des conditions de température et de pression bien déterminées.

Les lignes droites représentent les limites du champ de stabilité de chaque minéral. La présence de l'un de ces minéraux dans une roche donne des indications sur les conditions qui régnaient dans l'écorce terrestre lors de la formation de cette roche.



1- en se basant sur le doc 6, Expliquer l'effet de la température sur les roches.

2- Définissez le domaine de stabilité (température et pression) de chaque minéral (compléter le tableau en dessous)

3- Donner une définition au métamorphisme.

Réponses

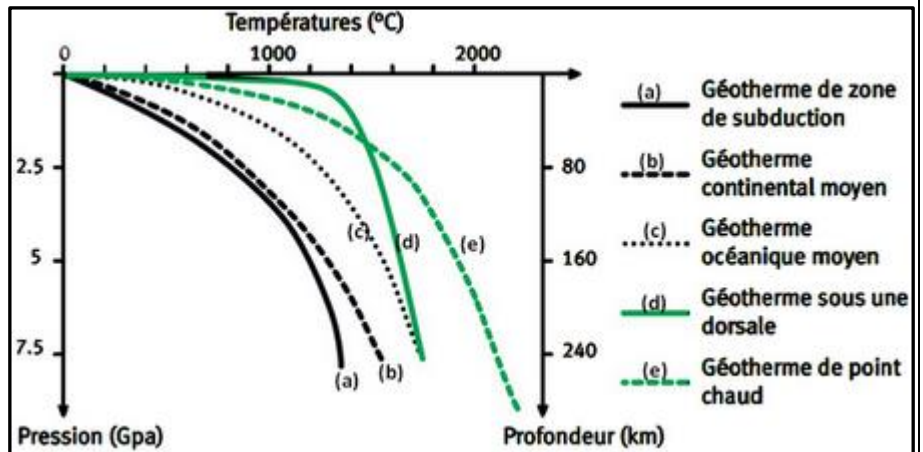
2-

	Intervalle de température	Intervalle de pression	Remarques
Andalousite			
Disthène			
Sillimanite			

2- Conditions de métamorphisme dans la nature

Doc 7 : Variation de température mesurée entre deux points situés à l'intérieur du globe terrestre

Plus on s'enfonce sous la terre, plus la température ambiante augmente, en moyenne l'augmentation est de 3°C tous les 100 mètres, c'est le gradient géothermique moyen, ce gradient n'est pas constante, ou on constate un faible gradient géothermique de l'ordre de 1°C/100m et un fort gradient géothermique à cote des chambres magmatiques. De même la pression augmente avec la profondeur, c'est la pression lithostatique qui est due au poids des roches, la pression tectonique qui est due aux contraintes compressives, et la pression hydrostatique qui est la pression des fluides CO₂, H₂O).



IV- Notion de minéral index et notion de série métamorphique

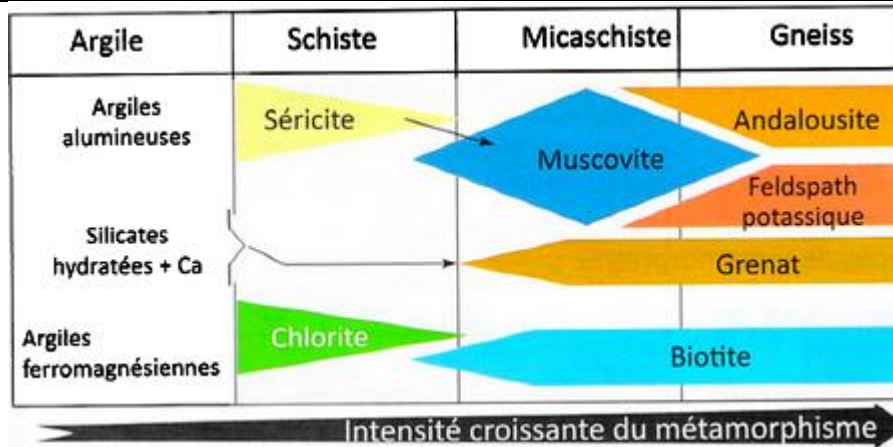
2- Notion du minéral index (indicateur)

Certains minéraux des roches métamorphiques se forment dans des conditions de pression et de température bien précises et constituent alors la mémoire des conditions de pression et de température atteintes. Donc, la présence de l'un de ces minéraux dans une roche qui affleure donne des indications sur les conditions de pression et de température qui régnaient dans l'écorce terrestre au moment de sa cristallisation. Ces minéraux sont appelés « minéraux index ou indicateurs ».

3- Notion de série et faciès métamorphique :

3-1- La série et la séquence métamorphiques

Doc 8 : La série et la séquence métamorphiques

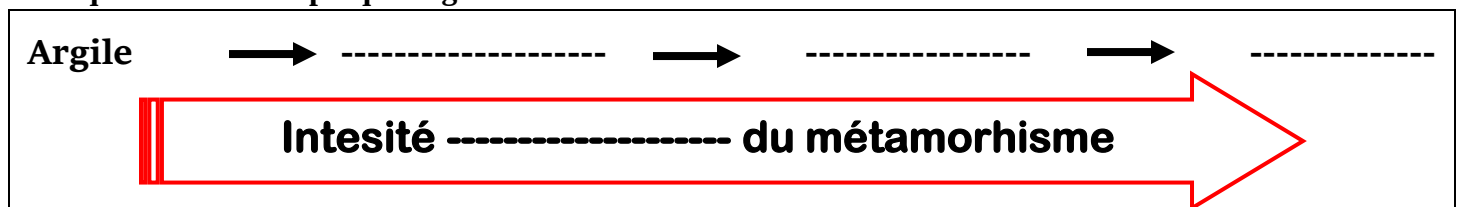


Succession d'apparition et de disparition de minéraux index selon les conditions de la pression et de la température malgré la stabilité de la composition chimique.

Les séries métamorphiques correspondent à la succession de différentes roches métamorphiques le long d'un gradient pression-température. Les séquences métamorphiques sont un ensemble de roches métamorphiques de différents degrés de métamorphisme, dont les compositions chimiques sont voisines, et étant issues d'une même roche initiale. On distingue par exemple, la séquence pélitique, issue des roches sédimentaires argileuses et la séquence basique, issue des roches magmatiques basiques.

• Exemple :

♦ Séquence métamorphique argileuse :



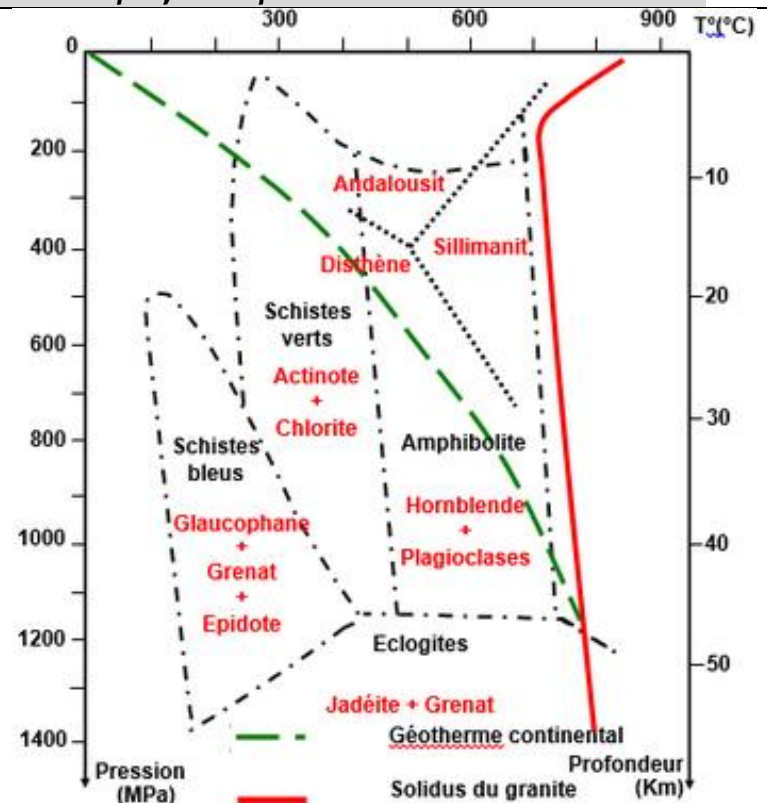
4- Faciès métamorphiques :

Doc 9 Diagramme des champs des différents faciès métamorphiques en fonction des conditions de T et de P

Des roches et des minéraux sont soumis à des conditions expérimentales de pression et de température similaires à celles qui règnent à différentes profondeurs. Les résultats sont reportés sur un diagramme de pression/température.

Les noms en rouge et soulignés indiquent les faciès de métamorphisme et représentent des domaines caractérisés par des conditions de pression température où se stabilisent des associations de minéraux représentées sur le diagramme en violet.

Si on applique les mêmes conditions sur d'autres roches on obtient les mêmes minéraux ou des associations proches. Par exemple, une argile se métamorphise en micaschiste à glaucophane dans le faciès des schistes bleus et en micaschiste à disthène ou sillimanite dans le faciès des amphibolites.



1- Relevez le faciès métamorphique et les conditions de formation d'une roche de métagabbro qui contient les minéraux suivants : feldspath, glaucophane, grenat.

2- Définissez le faciès métamorphique.

Réponses

V- Notion de métamorphisme dynamique et métamorphisme thermodynamique

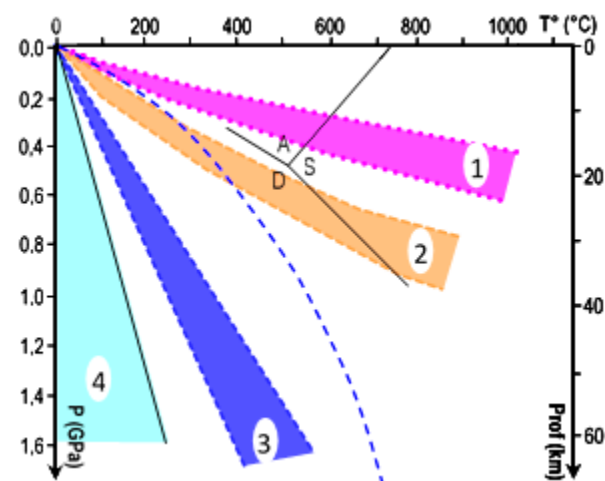
1- Les types de métamorphismes et leurs contextes géodynamiques

Doc 10 : Domaines pression-température des trois types de métamorphisme

Les roches métamorphiques se forment toujours dans les zones de convergence lithosphérique.
Selon l'endroit où elles prennent naissance, les roches métamorphiques peuvent être soumises à des conditions de températures et de pressions très variables.

C'est ainsi que trois types de métamorphisme sont définis:

- ① Basse pression et haute température (BP-HT).
- ② Moyenne pression et moyenne température (MP-MT) :
- Il se rencontre dans un contexte tectonique de collision ;
- ③ Haute pression et basse température (HP-BT) : se
- rencontre dans un contexte tectonique de subduction
- ④ Conditions Non réalisé dans la nature

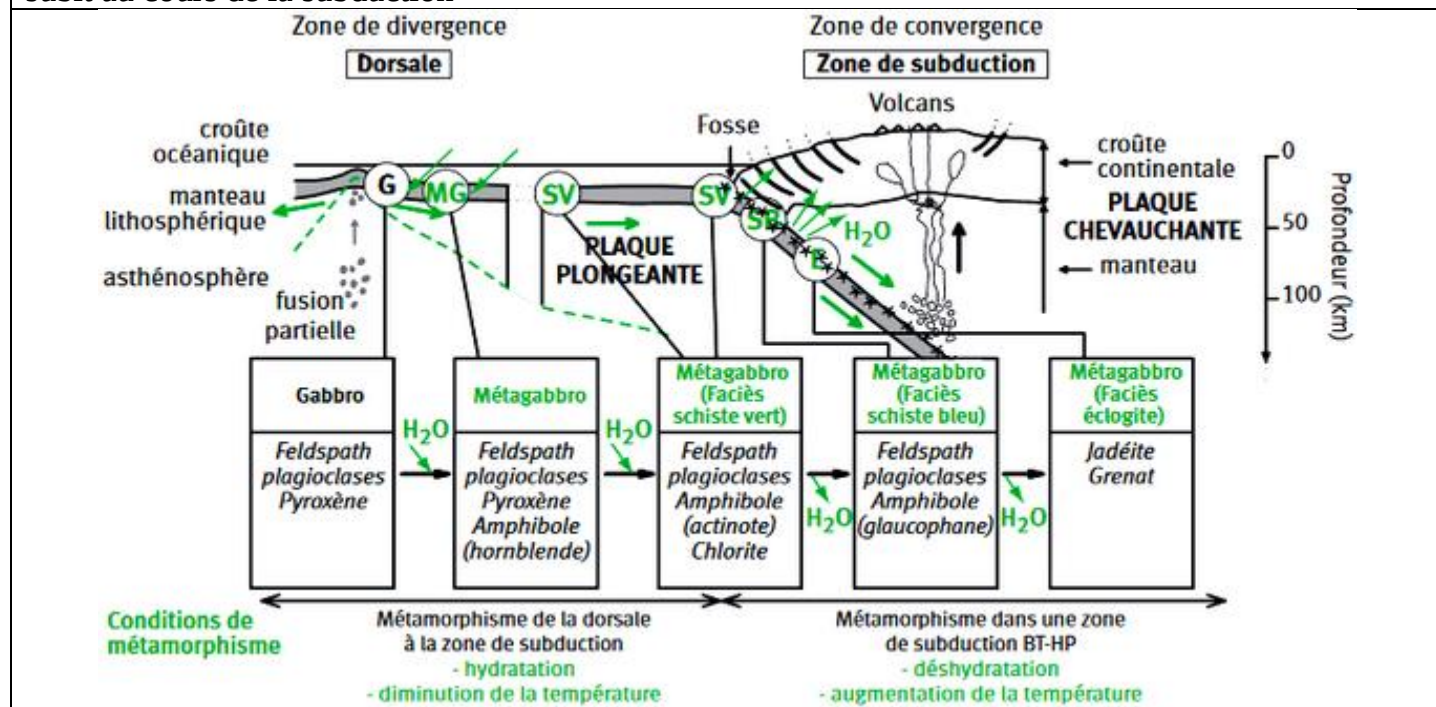
**Les types de métamorphismes**

Dans la nature on distingue - types de métamorphisme :

- ♦ Métamorphisme MP-MT (-----) ou thermodynamique. Il est caractérisé par le passage disthène-sillimanite, il se rencontre dans un contexte tectonique de collision.
- ♦ Métamorphisme HP-BT (-----) ou dynamique. Il est caractérisé par la présence des schistes bleus, se rencontre dans un contexte tectonique de subduction.
- ♦ Métamorphisme BP-HT (-----) ou de contact. Il est caractérisé par la présence de l'association andalousite-sillimanite, correspondant à un métamorphisme de contact.

2- Le métamorphisme dans les zones de subduction (métamorphisme dynamique) :**Doc 11 : Conditions de métamorphisme dans les zones de subduction**

Afin d'établir l'origine de l'eau nécessaire à la fusion partielle des péridotites du manteau chevauchant, il faut prendre en compte non seulement les transformations de la lithosphère océanique depuis sa création au niveau de la dorsale jusqu'à sa subduction, mais aussi celles qu'elle subit au cours de la subduction



3- Le métamorphisme dans les zones de collision (métamorphisme thermodynamique) :

Doc 12 : Conditions de métamorphisme dans les zones de collision :

Lors de la collision entre deux plaques continentales, les roches enfouies subissent un métamorphisme thermodynamique dû à l'augmentation simultanée de la température et de la pression (lithostatique ▼, contraintes tectoniques ►◄ et isostasie ▲)

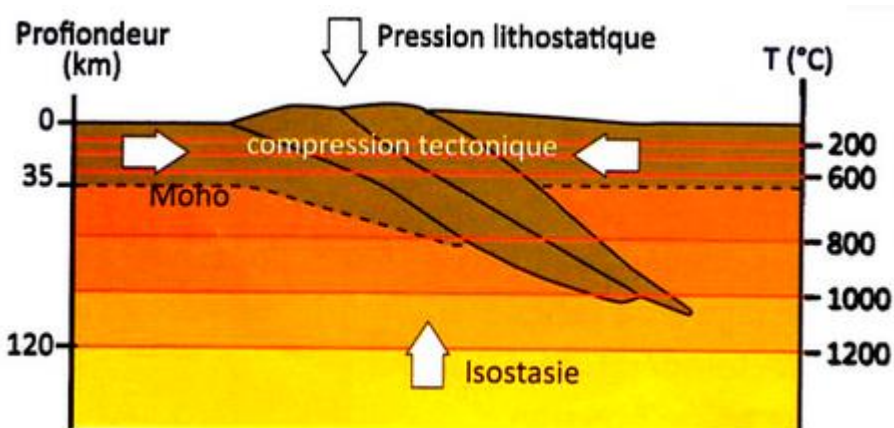
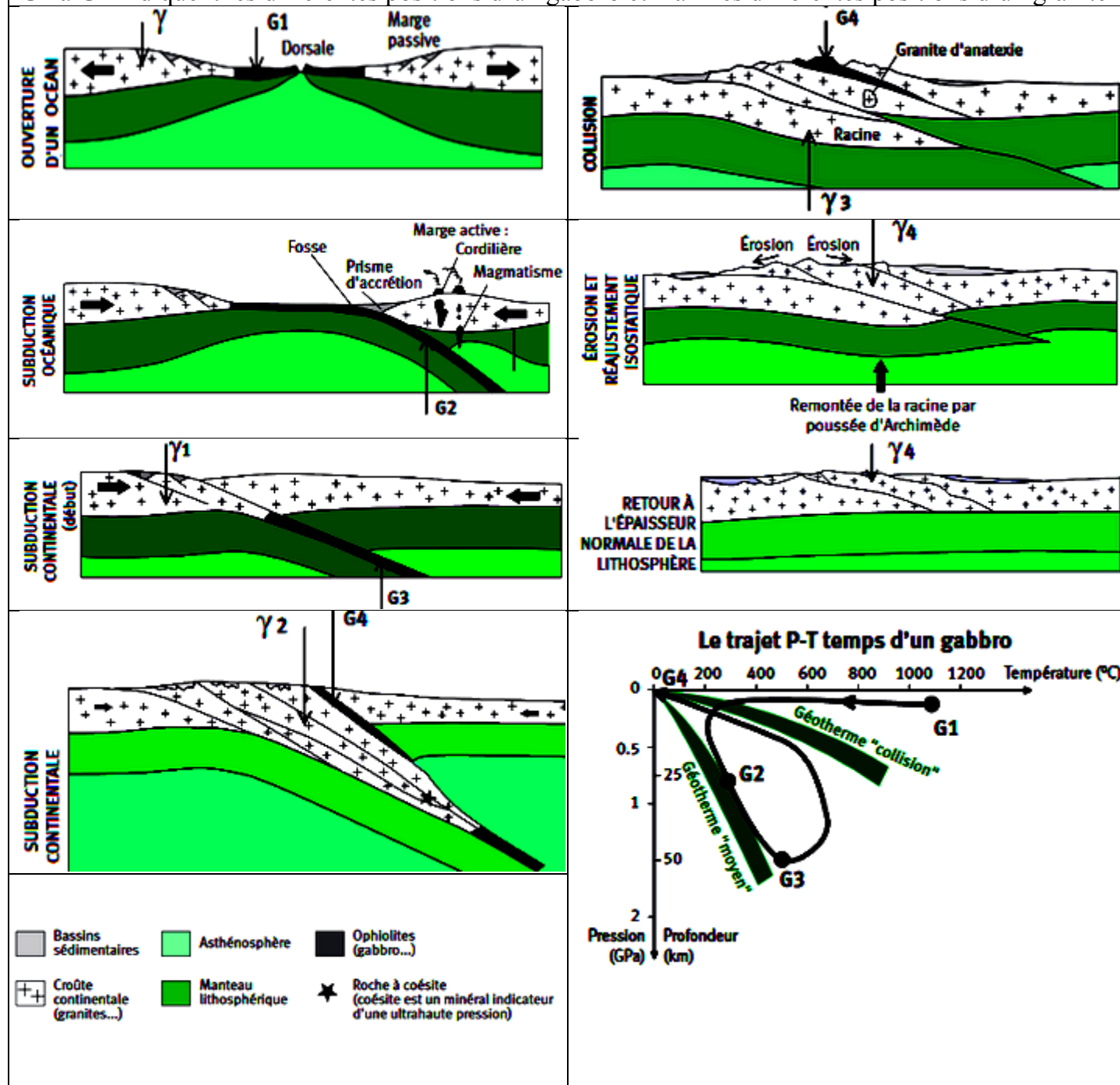
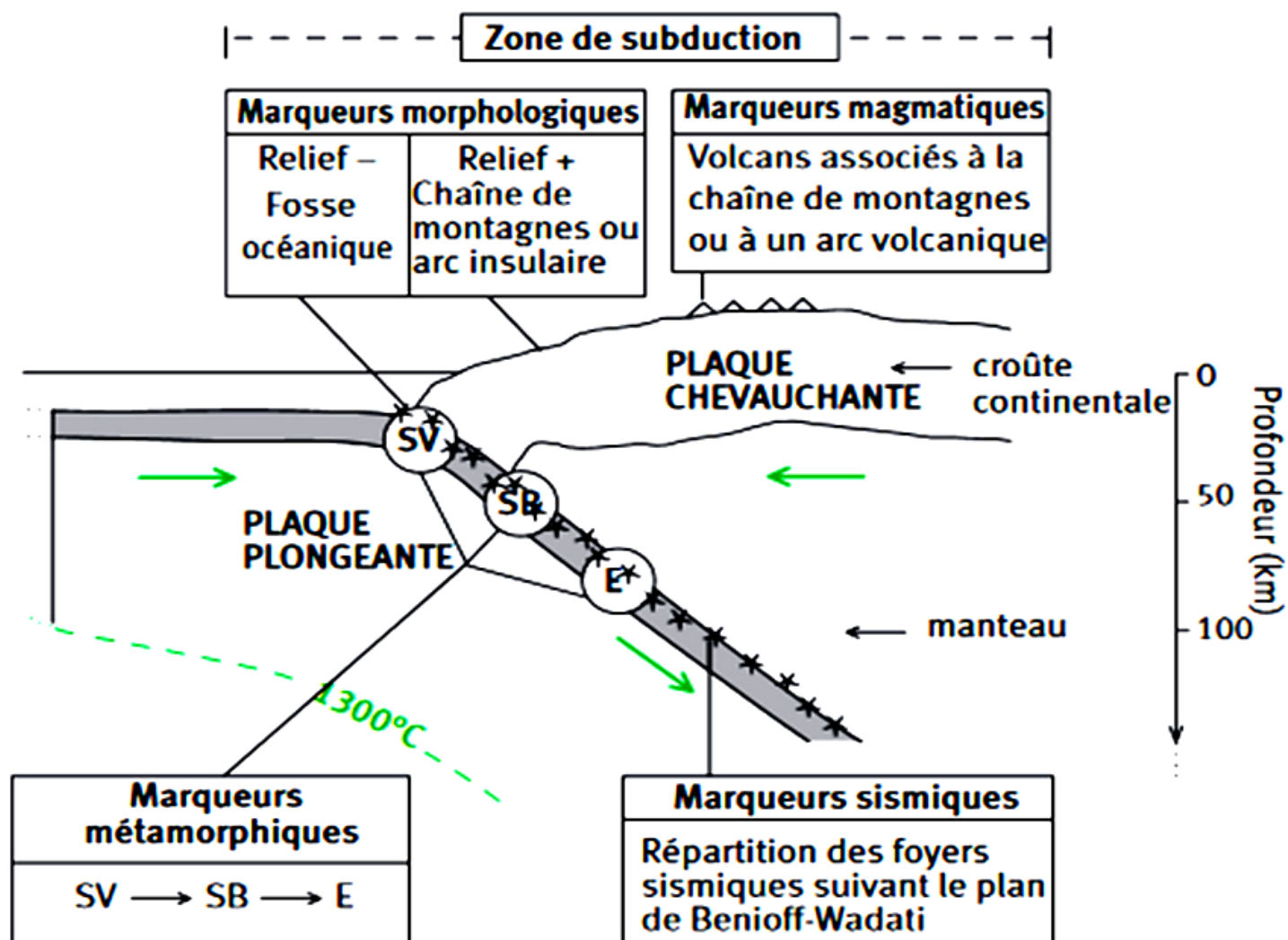


Schéma bilan

G1 à G4 indiquent les différentes positions d'un gabbro et 1 à 4 les différentes positions d'un granite



Zone de convergence



Unité
4

La granitisation et sa relation avec métamorphisme

Cours
3

Introduction

Le granite et les roches granitiques constituent la majeure partie de la croûte continentale. Le granite est une roche plutonique issue d'un refroidissement lent d'un magma en profondeur, ce qui lui confère sa texture grenue à grands cristaux.

Quelles sont les conditions de formation des granites ? Et quelle est leur relation avec les roches métamorphiques avoisinantes.

I- Le granite d'anatexie : mise en place

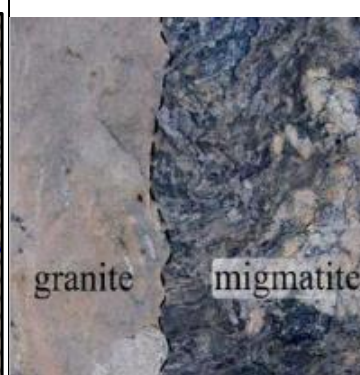
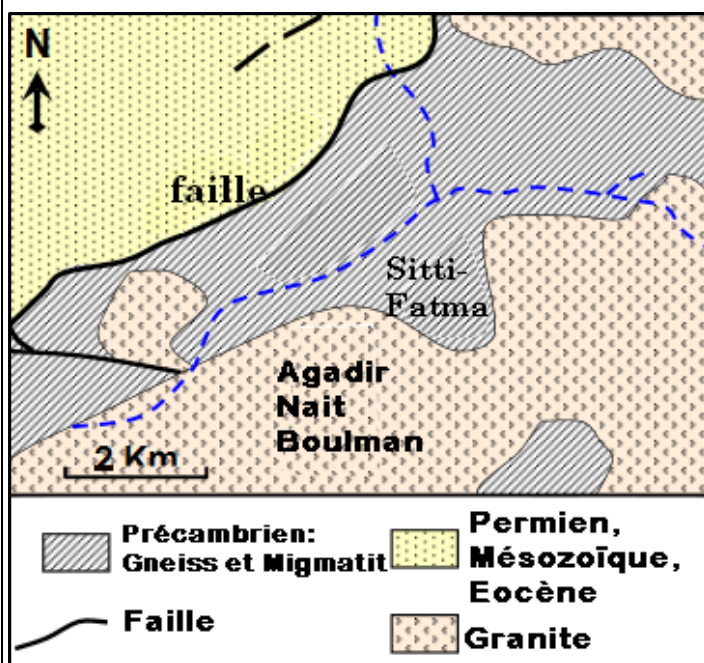
Les chaînes de collision sont caractérisées par la présence des roches métamorphiques qui constituent une mémoire des conditions de pression et de température qui ont régné lors de la formation de ces chaînes de montagnes. Parfois ces roches sont recoupées par des massifs granitiques.

Quelles sont les roches métamorphiques qui avoisinent le granite ? Et quelle est la structure de la zone de transition entre les roches métamorphiques et le granite.

1- Observations du granite d'anatexie et des roches métamorphiques sur le terrain

Doc 1 : Carte

géologique simplifiée de la région de Setti-Fatma dans la vallée Ourika (Haut Atlas) présentant l'affleurement du granite anatectique et des roches métamorphiques avoisinantes.

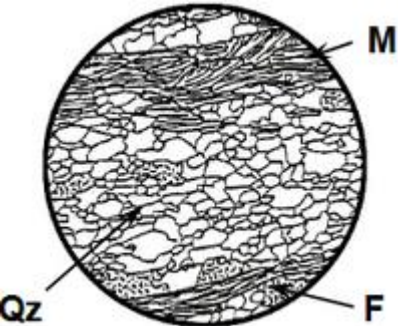
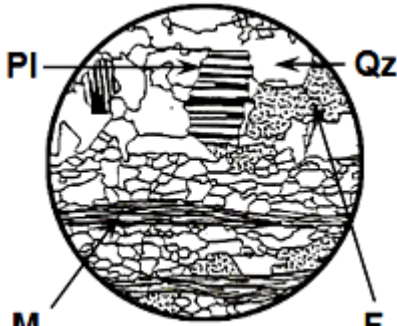


Affleurement de la Migmatite dans la région de Setti-Fatma (groupe de roche qui marque la transition entre le gneiss et le granite : la Migmatite)

♦ Décrivez la répartition du granite dans la région de Setti-Fatma.

Réponse

2- Quelques caractères des roches de la région de Sitti-Fatma

Echantillon	Gneiss	Migmatite	Granite
Observation à l'oeil nu			
Schéma interprétatif d'une lame mince	 Qz- quartz / F- feldspath / M- micas	 Qz- quartz / F- feldspath Potassique / M- micas / Pl- feldspath-Plagioclase	 Qz- quartz / F- feldspath Potassique / M- micas / Pl- feldspath-Plagioclase
Structure	Foliée (à minéraux orientés)	Foliée-grenue (Zone foliée et zone grenue)	Grenue
Etat à la formation	Solide	Solide + Liquide	Liquide
Orientation des minéraux	Oui. Alternance de bandes de couleurs sombres riche en biotite et claires riches en feldspath et quartz. . Ils sont étirés/ et ou orienté. On parle de foliation	Zone claire : minéralogie semblable à celle du granite Zone sombre : riche en mica.	Non
Type de roche	Roche métamorphique	Roche métamorphique présentant des traces de fusion partielle	Roche magmatique

1- Dégagez à partir des documents et les caractéristiques structurales des roches qui affleurent dans la région Setti-Fatma.

2- En utilisant vos connaissances sur les conditions de formation des roches métamorphiques, proposez une hypothèse expliquant la formation de la migmatite et du granite côtoyant les roches métamorphiques.

II- Origine du granite d'anatexie et sa relation avec les roches métamorphiques avoisinantes

Dans les chaînes de collision affleurent de vastes zones de roches métamorphiques et granitiques juxtaposées. Parfois ces affleurements renferment ces deux familles de roches sans limites bien définies entre elles.

♦ Quelle est la relation entre les granites d'anatexie et les roches métamorphiques avoisinantes ?

1- Origine du granite d'anatexie

1-1-Fusion partielle de roches argileuses

Doc 3 : Fusion partielle de roches argileuses
Trois roches argileuses A, B et C sont soumises à une pression hydrostatique de 2 kbar (égale à la pression d'une profondeur de 7 à 8 km) et une température comprise entre 700 et 800°C.

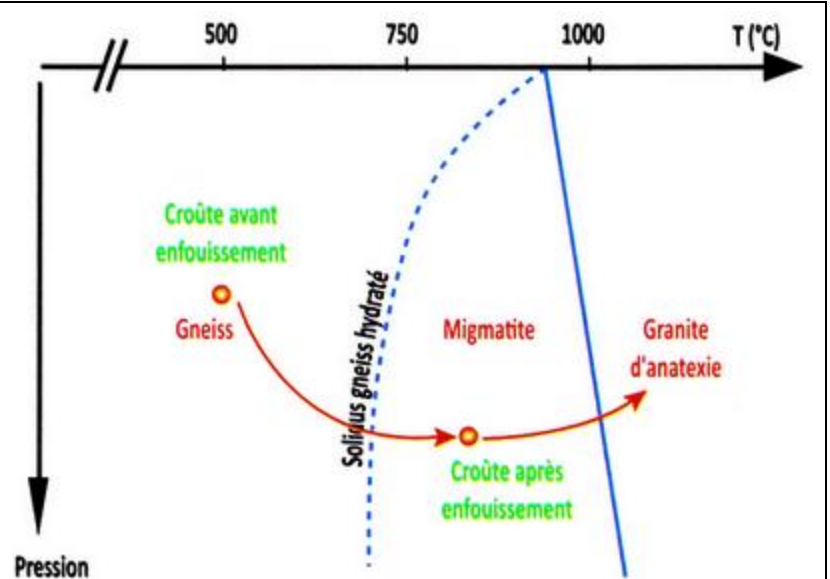
A partir de 700°C, et après le métamorphisme des roches argileuses, se forme un liquide de fusion partielle qui donne après refroidissement une roche anatectique (tableau ci-contre).

Minéraux	Compositions des roches argileuses (%)		
	A	B	C
Quartz	15	20	24
Illite	35	70	60
Kaolinite	50	10	10
Divers	0	0	6
T° anatectique	695°C	725°C	715°C
Minéraux	Composition de la roche anatectique (%)		
Quartz	42		
Orthose	50		
Plagioclase	8		

1- Déterminez à partir du **document 3** les conditions de la fusion partielle des roches argileuses.

1-2- Conditions d'anatexie (Phénomène de fusion de terrains rocheux, avec formation de magma)

Doc 4 : À l'intérieur du globe, la température (T) augmente avec la profondeur. Dans la partie superficielle de la croûte continentale, la T augmente de 3°C tous les 100 m. C'est dans les conditions du géotherme de collision que la fusion partielle est plus aisément atteinte. La courbe d'anatexie indique les conditions au-delà desquelles les roches commencent à fondre en produisant un magma de composition granitique. Les migmatites sont des roches qui, dans un diagramme pression température, se situent entre le solidus et le liquidus (limite à partir de laquelle la roche est totalement fondue).

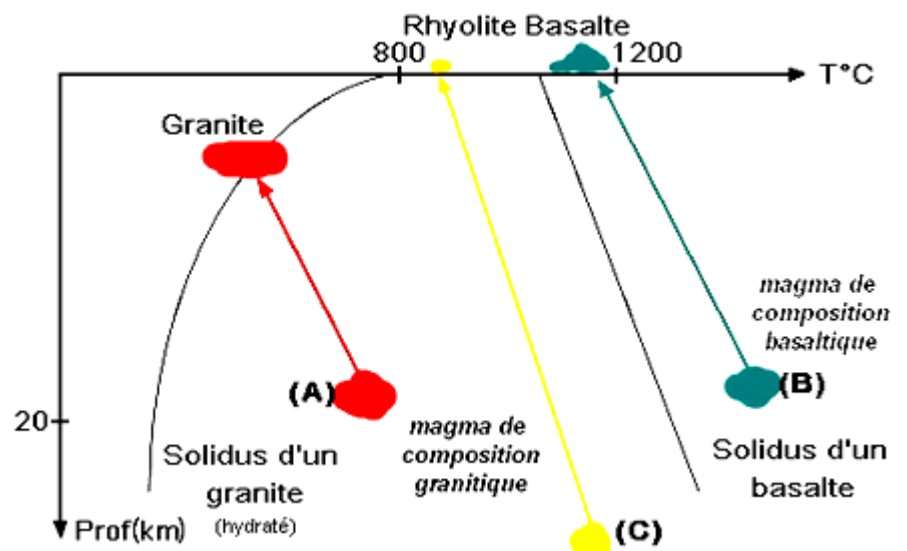


♦ Déterminez à partir de l'analyse de ce document les conditions de l'anatexie.

1-3- Conditions de refroidissement du magma granitique

Doc 5 : Le document suivant représente le solidus et les trajets de différents magmas (granitique (A), basaltique(B), et rhyolitique(C)).

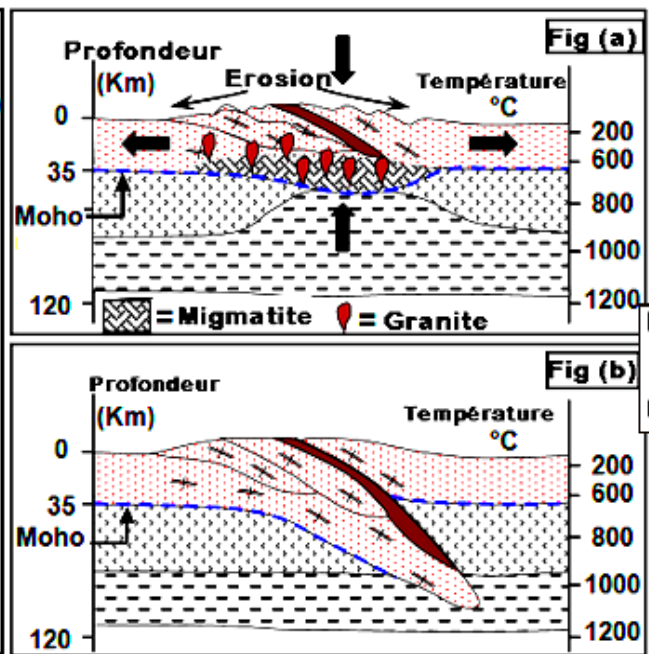
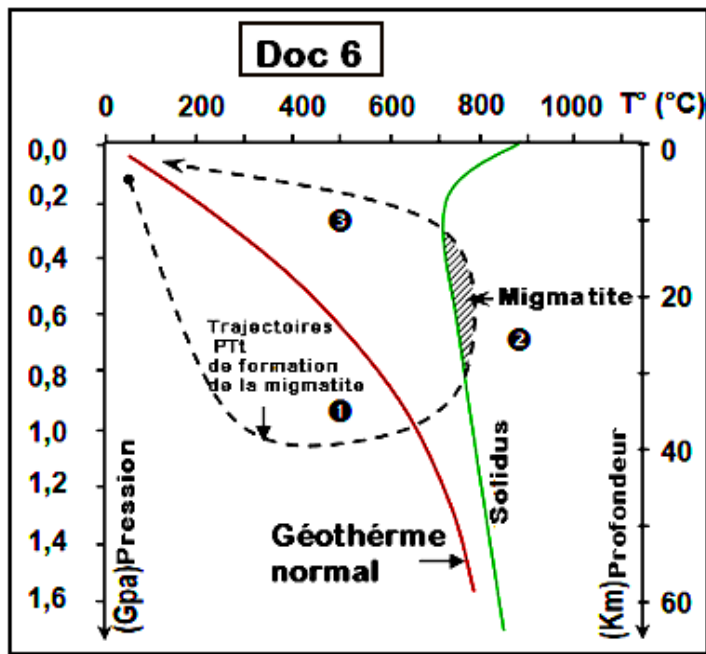
- 1- Analyser le document 5 et déduire ?
- 2- Déterminer les conditions de formation des magmas A, B et C ?
- 3- On suppose que le magma A migre vers la surface avec une température constante, à quelle profondeur, le magma granitique A passerait de l'état liquide à l'état solide ?
- 4 - Quel serait le résultat de l'intrusion du magma granitique dans les strates de la croûte terrestre ?



1-4- Origine des granites dans les chaînes de collision

Doc 7 : Dans les chaînes de collision, les unités rocheuses subsidantes sont soumises à une très forte pression et une température élevée. Sous l'effet de l'isostasie et l'érosion, ces unités remontent vers la surface ce qui fait diminuer la pression, mais la température reste élevée par une remontée de l'asthénosphère.

Ces conditions vont conduire à la fusion partielle et la formation du magma anatexique. Ce magma va se refroidir sur place donnant un granite d'anatexis ou migrer près de la surface sous forme de granite intrusif.



♦ En reliant les informations apportées par le document (7) avec celle du document (6) expliquez les conditions d'anatexis dans les chaînes de collision.

Conclusion

III- Le granite intrusif : observation sur le terrain

Dans les anciennes chaînes de montagnes érodées, affleurent des batholites de roches complètement cristallisées dont le granite est le plus représenté. Ce type de granite est qualifié d'intrusif.

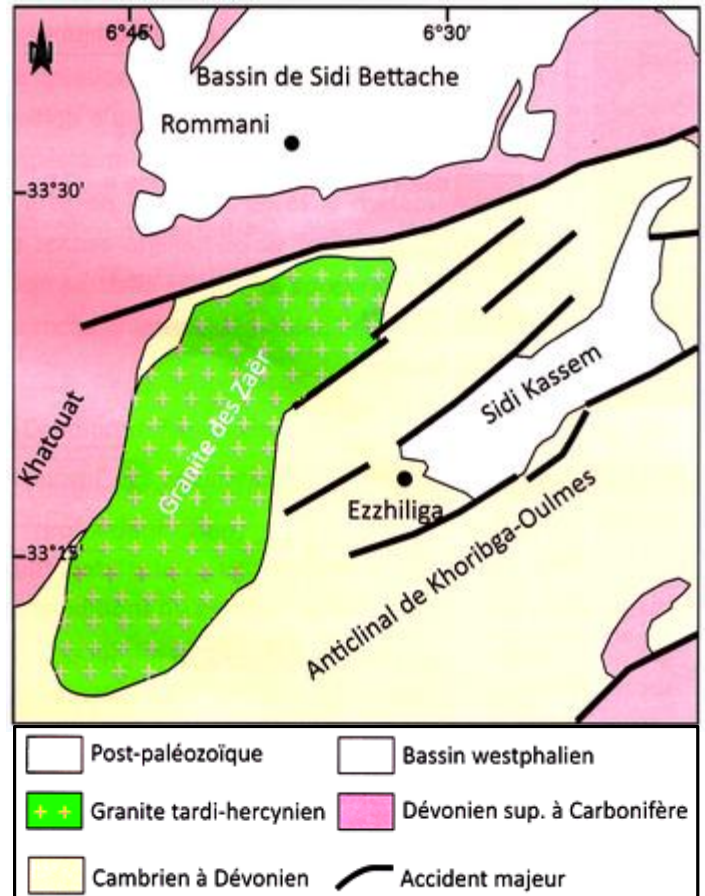
Quelles sont les caractéristiques des granites intrusifs ?

1- Etude du granite de Zaër

Doc 8 : Le granite de Zaër représenté par une carte géologique simplifiée

Le pluton granitique de Zaër, considéré comme l'un des plus importants granitoïdes de la chaîne hercynienne du Maroc, d'environ 40 km de grand axe sur 15 à 20 km de large. Il apparaît en pluton circonscrit, à caractère nettement intrusif dans l'encaissant paléozoïque (primaire) qui montre, autour de ce pluton une auréole de métamorphisme de contact de 1 à 3 km de large.

♦ Décrivez l'affleurement du granite de Zaër.

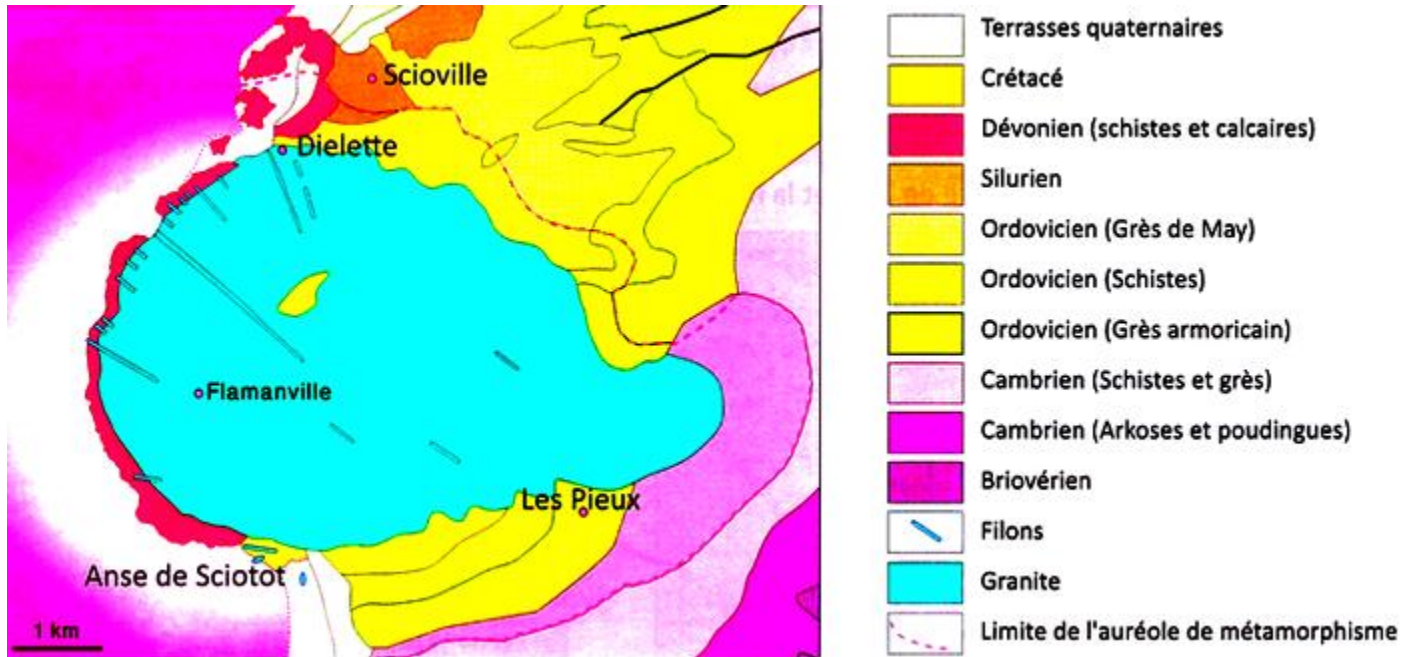


Réponse

2- Granite de Flamanville (France)

Doc 9 : Carte géologique montrant l'affleurement du granite de Flamanville

Le pluton granitique de Flamanville est situé dans la partie Nord du Massif Armoricaïn, sur la côte occidentale du Cotentin. Ce pluton presque circulaire dessine un massif d'environ 5 km de diamètre. Le site permet d'aborder les conditions de genèse et de mise en place du granite et de son auréole de métamorphisme.



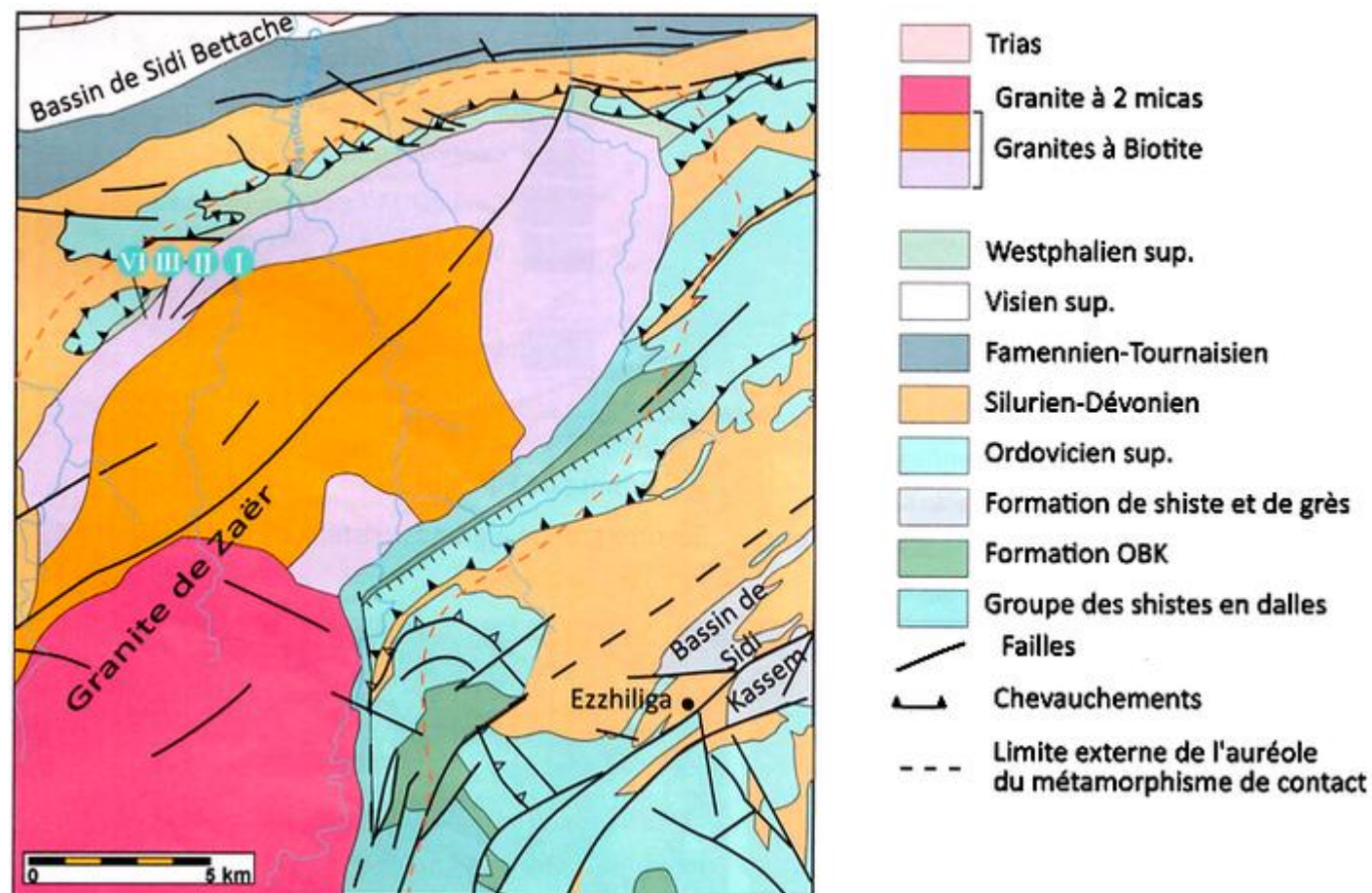
◆ Décrivez l'affleurement du granite de Flamanville.

IV- Origine et mise en place du granite intrusif et notion de métamorphisme de contact

1- Métamorphisme de contact du granite de Zaër

Doc 9 : Aperçu géologique et structural de la région de Ezzhiliga-Rommani

Emplacement de la partie Nord du granite de Zaër et la limite de l'auréole du métamorphisme de contact



Les granitoïdes de Zaër, surtout ceux à mica, renferment beaucoup d'enclaves de tailles et d'origines différentes.

On y trouve des enclaves mantelliques parfois métriques et des enclaves de l'encaissant avec des limites bien définies ou diffuses.

L'auréole de métamorphisme a une largeur allant de 1,5 km à 3 km.

Les zones qui constituent l'auréole de métamorphisme sont réparties comme suit :

I cornéenne à feldspath potassique 1 cordiérite 1 sillimanite.

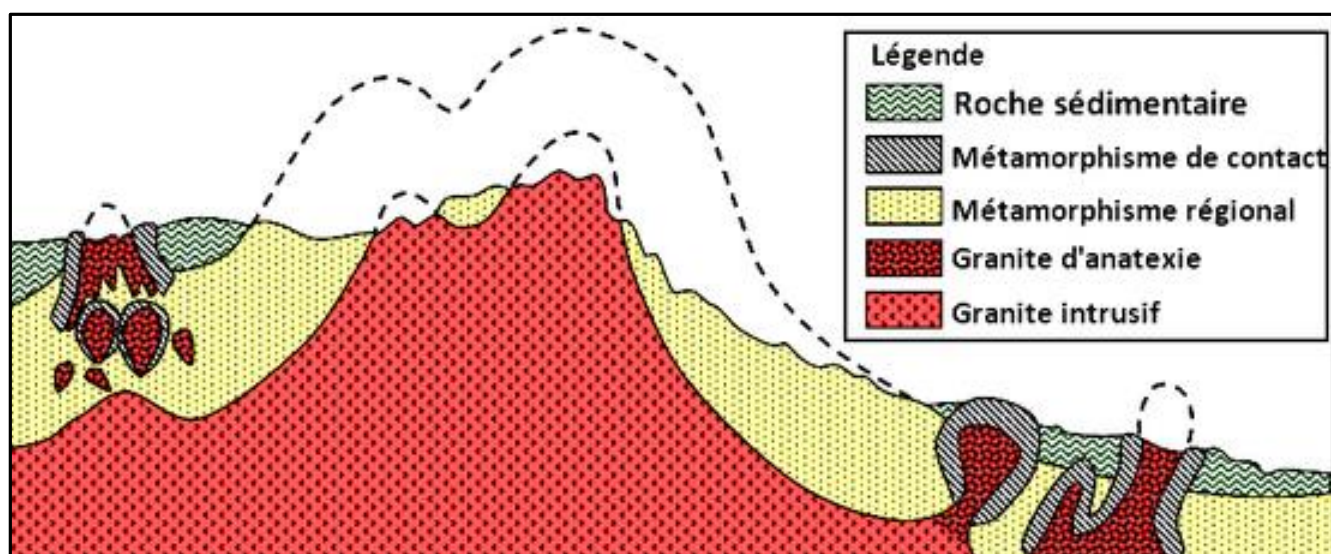
II zone à andalousite 1 cordiérite

III zone à andalousite 1 biotite.

VI zone à biotite (chlorite) + séricite.

♦ Dégagez les caractéristiques pétrographiques et minéralogiques du granite de Zaër

V- Comparaison entre un granite d'anatexie et un granite intrusif



<i>Granite d'anatexie</i>	<i>Granite intrusif</i>

A red oval logo with a double border, containing the text "Lycée EL-WAHDA" in red.

Lycée EL-WAHDA

اخواني نسألكم الدعاء لي ولعائلتي