

Introduction:

Les zones de subduction et les zones de collision sont caractérisées par l'affleurement de roches qui ont une structure et une composition minéralogique qui résulte d'une transformation de la roche préexistante à l'état solide sous l'effet de l'augmentation de la température et de la pression. Ces roches sont appelées roches métamorphiques.

- *Quelles sont les caractéristiques structurales et minéralogiques des roches métamorphiques ?*
- *Quelles sont les facteurs responsables de la formation de ces roches ?*
- *Quelle relation Y-a-t-il entre ce type de roches et la tectonique des plaques ?*

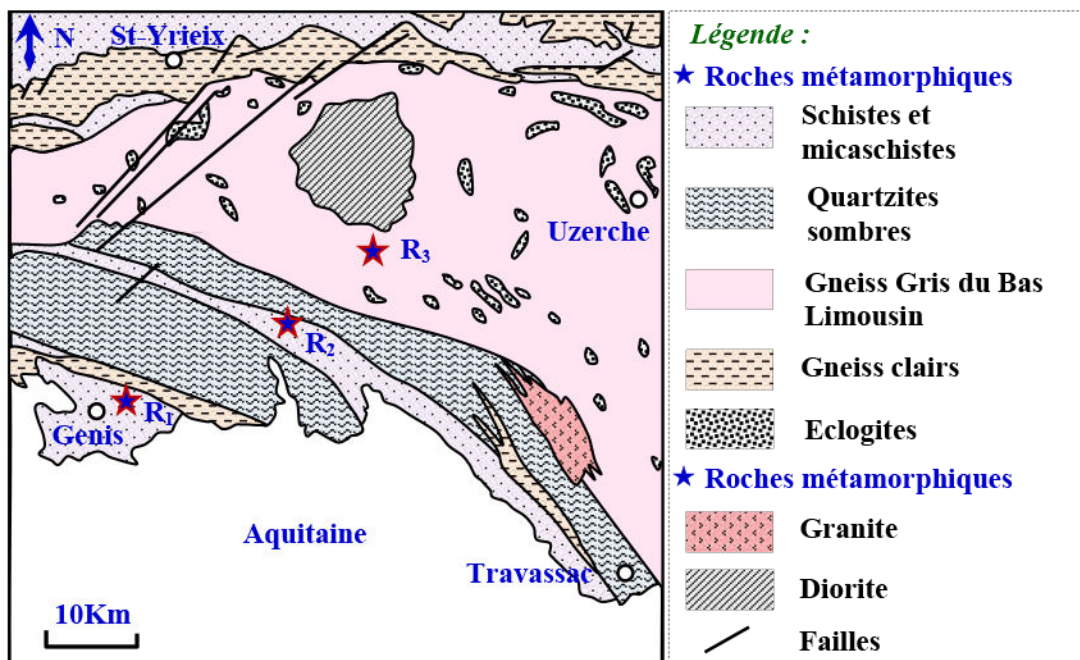
I – Les caractéristiques structurales et minéralogiques des roches métamorphiques des zones de collision.

- ① Etude d'une carte géologique simplifiée de la région d'Uzerche:
(Voir document 1, (a))

Document 1: Observations de roches métamorphiques des chaînes de collision.

a) Observation d'une carte géologique simplifiée de la région d'Uzerche (France) :

La région d'Uzerche en France 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.






⇒ Décrivez la répartition des roches métamorphiques dans la région d'Uzerche.

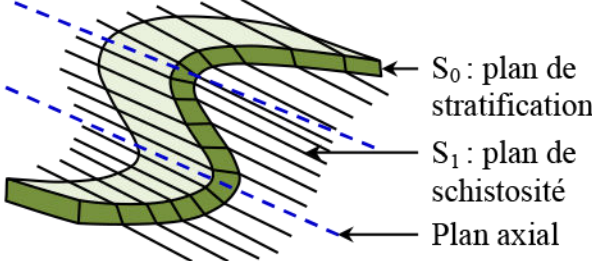
Dans cette chaîne de collision, il y a affleurement des roches métamorphiques sur une large étendue. Ces roches s'imbriquent avec des roches magmatiques.

Document 1: (Suite).

b) Des roches métamorphiques des zones de collision (R_1 , R_2 et R_3) :

La roche	R_1 (Schiste vert)	R_2 (Micaschiste)	R_3 (Gneiss)
Observation à l'œil nu			

c) La schistosité et la foliation : deux structures du métamorphisme :

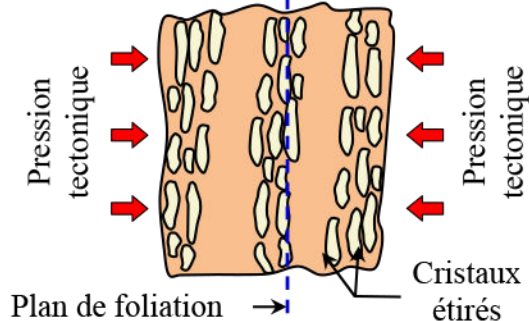


S_0 : plan de stratification

S_1 : plan de schistosité

Plan axial

La schistosité : Feuilletage (Distinct de la stratification) présenté par des roches sous l'influence de contraintes tectoniques, et selon lequel elles peuvent se débiter en lames.



Pression tectonique

Pression tectonique

Plan de foliation

Cristaux étirés

La foliation : est une structuration en plans distincts des roches métamorphiques. La structure est marquée par l'orientation préférentielle de minéraux visibles à l'œil nu. Il y-a le plus souvent une différenciation pétrographique nette.

⇒ Dégagez à partir du doc b et c les caractéristiques structurales des roches métamorphiques.


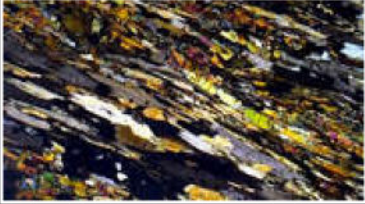
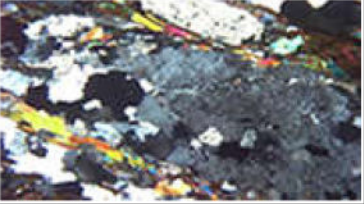

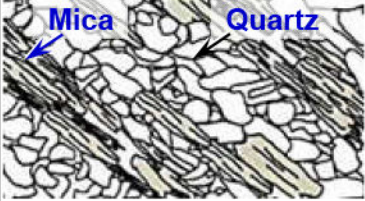
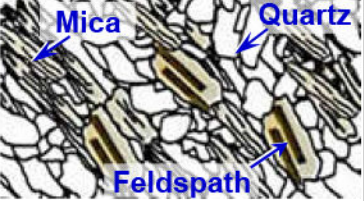
L'observation à l'œil nu des trois roches métamorphiques : schiste vert, micaschiste et gneiss, rencontrées dans la zone de collision, montre que ces roches présentent des structures différentes :

- ✓ Le schiste vert : Roche à structure schisteuse (minéraux alignés) caractérisée par la chlorite (minéral vert).
- ✓ Le micaschiste : Roche qui brille dont les minéraux forment des lits fins ce qui donne à la roche un aspect folié (Foliation) simple à cliver.
- ✓ Le gneiss : Roche qui se caractérise par une structure en foliation, non clivable, avec une alternance de lits clairs et de lits sombres (recristallisation et réorganisation des minéraux en bondes clairs et bondes sombres).

③ Structure microscopique et composition minéralogiques des roches métamorphiques:
(Voir document 2)

Document 2: Structure microscopique et composition minéralogique des roches métamorphiques.

a) Observation au microscope polarisant de roches métamorphiques :

La roche	R ₁ (Schiste vert)	R ₂ (Micaschiste)	R ₃ (Gneiss)
Observation d'une lame mince			
Schéma d'interprétation de la lame mince			

b) Composition chimique de quelques roches métamorphiques et quelques minéraux qui les composent :

La roche	Schiste vert	Mica-schiste	Gneiss	Minéraux	Formule chimique	
Composition chimique	SiO ₂	60.2	60.9	68.7	Plagioclase	(NaAlSi ₃ O ₈) Pour l'albite
	Al ₂ O ₃	20.9	19.1	16.2		(CaAl ₂ Si ₂ O ₈) Pour l'anorthite
	Fe ₂ O ₃	2.8	1.2	0.7	Augite	(Ca, Mg, Fe) ₂ ((Si, Al) ₂ O ₆)
	FeO	3.7	4.1	4.1	Epidote	Ca ₂ Fe Al ₂ (SiO ₄)(Si ₂ O ₇)O(OH)
	MgO	0.85	1.4	1.3	Glaucophane	Na ₂ (Mg, Fe ⁺²) ₃ Al ₂ [Si ₈ O ₂₂](OH) ₂
	CaO	0.55	1.7	1.8	Jadéite	NaAlSi ₂ O ₆
	Na ₂ O	2.45	2.1	3.8	Grenat	(Ca, Mg, Fe) Si ₃ Al ₂ O ₁₂
	K ₂ O	4.1	3.7	3	Chlorite	(Fe, Mg, Al) ₆ (Si, Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₈

⇒ Comparez les microstructures et la composition des 3 roches.

⇒ Dégagez le caractère commun des roches métamorphiques et proposez une hypothèse sur leur origine, sachant que les roches argileuses sont des silicates d'alumine (Minéraux de composition chimique générale Al₂SiO₅).

⇒ Comparons les microstructures et la composition des trois roches:

- ✓ Le schiste vert : c'est une roche qui a gardé le litage sédimentaire, elle présente des minéraux de séricite et de chlorite de petite taille, orientés selon la surface de stratification.
- ✓ Le micaschiste : c'est une roche dont les minéraux (biotite muscovite et quartz) de taille moyenne, sont orientés selon un plan différent de celui de la stratification et forment des lits fins, ce qui donne à la roche un aspect folié simple à cliver.
- ✓ Le gneiss : c'est une roche fortement métamorphisée, dure, non clivable, formée d'une alternance de lits sombres (mica) et de lits clairs (feldspath et quartz).

⇒ Le caractère commun des roches métamorphiques et leur origine:

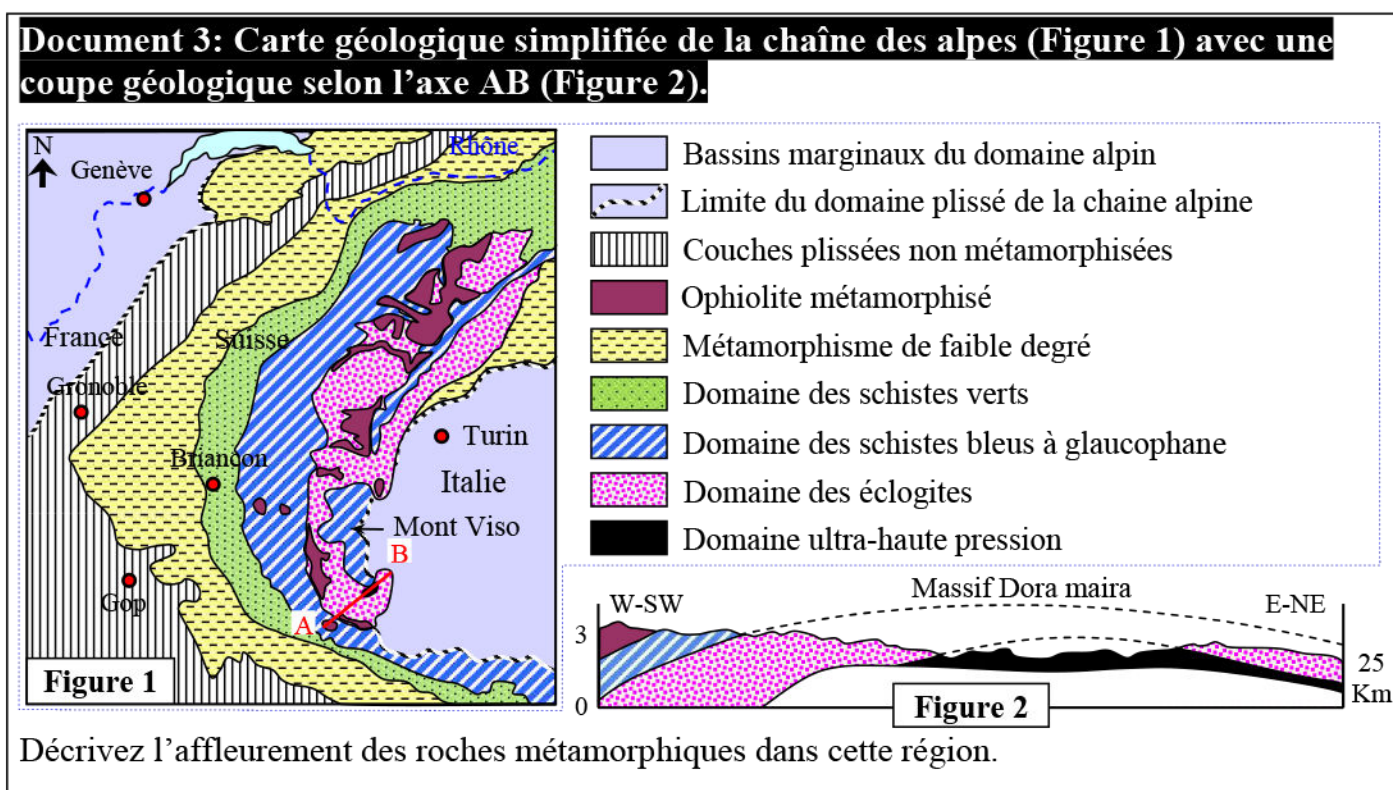
- ✓ Les trois roches métamorphiques étudiées, ont la même composition chimique générale. Ce sont des silicates d'alumine, elles ont donc la même origine (roche mère) et elles ont subi des conditions différentes de pression et températures.
- ✓ Les roches argileuses (Silicate d'alumine), ont la même composition chimique que ces roches métamorphiques, donc on peut supposer que ces dernières sont le résultat de transformation des roches argileuse soumises à des conditions de T et P croissantes.

II – Les caractéristiques structurales et minéralogiques des roches métamorphiques des zones de subduction.

① Affleurement de roches métamorphiques témoins d'une ancienne subduction:

Dans les alpes franco-italiennes, les roches sédimentaires et cristallines ont toutes subi un métamorphisme, mais ceci a été d'intensité très variable selon la région considéré.

Le document 3, présente une carte géologique des alpes franco-italiennes avec une coupe géologique au niveau du massif de Dora maira.



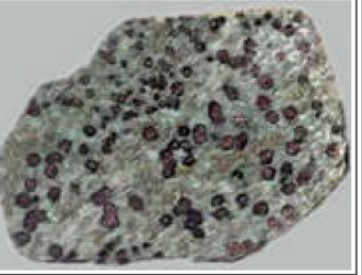
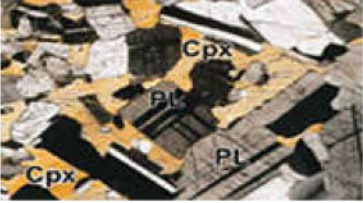

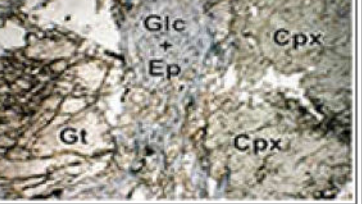


Dans la chaîne des Alpes (chaîne de collision) on observe une zonation dans la répartition des affleurements des roches métamorphiques sous forme de bandes parallèles: on passe du schiste vert au schiste bleu caractérisé par le glaucophane et l'épidote, puis à l'éclogite caractérisé par les grenats et la jadéite, qui s'associe aux ophiolites.

L'éclogite, contenant les grenats et la jadéite qui se forment dans des conditions de haute pression, témoigne d'une subduction qui a précédé la collision.

② Caractéristiques structurales et minéralogiques des roches métamorphiques dans les zones de subduction : (Voir document 4)

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

La roche	Gabbro Ophiolitique	Schiste bleu	Eclogite						
Observation d'échantillons de roches à l'œil nu									
	Roche dont la couleur principale est le vert foncé. Comprennent plus de 50% de plagioclase en plus du pyroxène, biotite...	Roche métamorphique caractérisée par la présence de glaucophane (minéral bleu) (= schiste bleu) et de mica blanc.	Roche métamorphique caractérisée par la présence du grenat et la jadéite qui indiquent des conditions extrêmes.						
Observation d'une lame mince au microscope polarisant									
Composition minéralogique	Cpx : Pyroxène PL : Plagioclase	Cpx : Pyroxène Glc : Glaucophane	Cpx : Pyroxène Glc : Glaucophane Ep : Epidote Gt : Grenat						
Même composition chimique générale	Éléments	K ₂ O	Na ₂ O	CaO	MgO	FeO	TiO ₂	Al ₂ O ₃	SiO ₂
	%	0.4	2.2	9.9	12.7	11	2.3	14.2	47.1

- 1) Comparez la structure et la composition des trois roches.
- 2) Que peut-on déduire de l'existence du gabbro ophiolitique dans cette région et quelle est sa relation avec les roches métamorphiques voisines?

- 1) On observe que les roches métamorphiques des anciennes zones de subduction ont des structures et compositions minéralogiques différentes, ce qui indique que ces roches ont subi des degrés différents de pression et de températures:
 - ✓ Les gabbros sont des roches plutoniques magmatiques 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 biotite peuvent être également présents.
 - ✓ Le schiste bleu ou schiste à glaucophane est une roche métamorphique caractérisée par la présence de glaucophane (couleur bleue) et de mica blanc.
 - ✓ Eclogite : est une roche métamorphisée dans les conditions extrêmes. Elle contient du grenat et la jadéite.

- 2) Les roches métamorphiques (Schiste bleu et élogite) ont une composition chimique identique à celle du Gabbro (roche magmatique du complexe ophiolitique), donc l'origine de ces roches métamorphiques est le gabbro.

La chaîne alpine aurait donc été précédée par la disparition de l'océan alpin à la suite de la subduction d'une plaque tectonique en dessous d'une autre: les deux croûtes continentales sur les deux plaques se sont retrouvées en collision, conditions favorables à la formation des roches métamorphiques.

III – Les facteurs du métamorphisme.

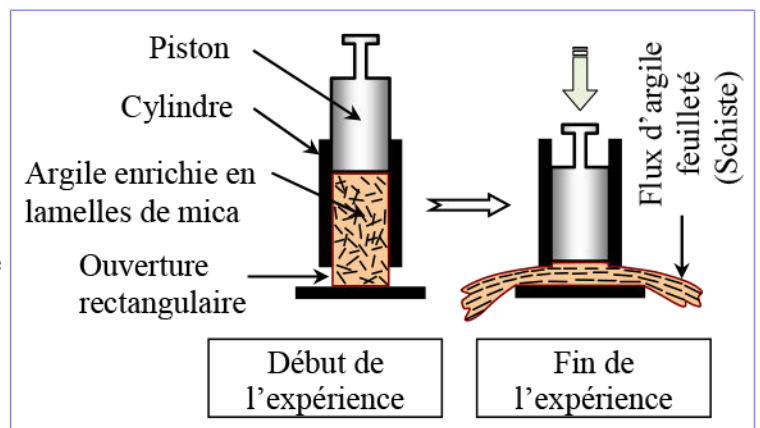
① Mise en évidence des conditions du métamorphisme:

a) Action de la pression : Expérience de Daubrée (Voir document 5)

Document 5: Action de la pression (Expérience de Daubrée).

Pour montrer l'origine de l'organisation et de l'orientation des minéraux des roches métamorphiques, Daubrée a réalisé l'expérience suivante:

Dans un cylindre à piston et avec 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.



Décrire le résultat de l'expérience de Daubrée et établir la relation entre cette expérience et la schistosité caractérisant les roches métamorphiques.

L'effet de la pression sur un mélange d'argile et de mica conduit à la formation d'une roche aux minéraux orientés (schistosité) perpendiculairement à l'orientation des contraintes. La pression est donc le facteur responsable de l'organisation et l'orientation des lamelles de mica.

Les résultats de l'expérience de Daubrée, permettent donc de démontrer que la structure schisteuse apparue chez la roche métamorphique est due à la pression régnante dans les profondeurs.

b) Action de la température : (Voir document 6)

Document 6: Action de la température.

★ La fabrication des briques et des produits de poterie exige une température supérieure à 200°C, afin de transformer la pâte argileuse. L'argile cuite ainsi transformée, ne reprend jamais sa plasticité si on ajoute de l'eau.

★ Données expérimentales de chauffage à haute température d'un mélange d'argile (Kaolinite) et de silice (Quartz) :

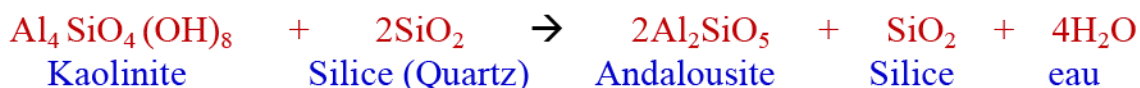
- ✓ A la température de 500°C, la Kaolinite (Silicate d'alumine hydraté) se transforme en métakaolinite (Silicate d'alumine déshydraté).
- ✓ A 870°C, le quartz se transforme en tridymite, et la métakaolinite en mullite.

Ces transformations sont irréversibles.

★ Expérience de Winkler : Winkler et ses collaborateurs ont fait subir à une roche argileuse une pression constante (2Kbar) avec une augmentation progressive de la température et ont noté les changements suivants :

Document 6: (Suite).

- ✓ A la température de 570°C, il y'a apparition de nouveaux minéraux, tels que l'andalousite selon la réaction suivante:



- ✓ A la température de 700°C, la fusion partielle commence, le milieu est constitué de deux états ; un solide contenant la biotite et la sillimanite et l'autre liquide issu de la fusion. Il y'a disparition de l'andalousite au profit de la sillimanite.

En exploitant les données de ce document, expliquer l'effet de la température sur les roches.

Si on soumet des roches argileuses à une pression stable avec une augmentation progressive de la température, de nouveaux minéraux apparaissent sans fusion de la roche. La température transforme donc la composition minéralogique des roches à l'état solide. En effet, certains minéraux deviennent instables dans les nouvelles conditions et se transforment en nouveaux minéraux stables dans ces conditions.

c) Action simultanée de la pression et de la température : (Voir document 7)

Document 7: Les domaines de stabilité de trois silicates d'alumine.

Les travaux de Richardson et ses collaborateurs ont montrés que les trois formes de silicates d'alumine, l'andalousite, le disthène et la sillimanite, n'apparaissent et ne se maintiennent que dans des conditions de pression et de température nettement définies.

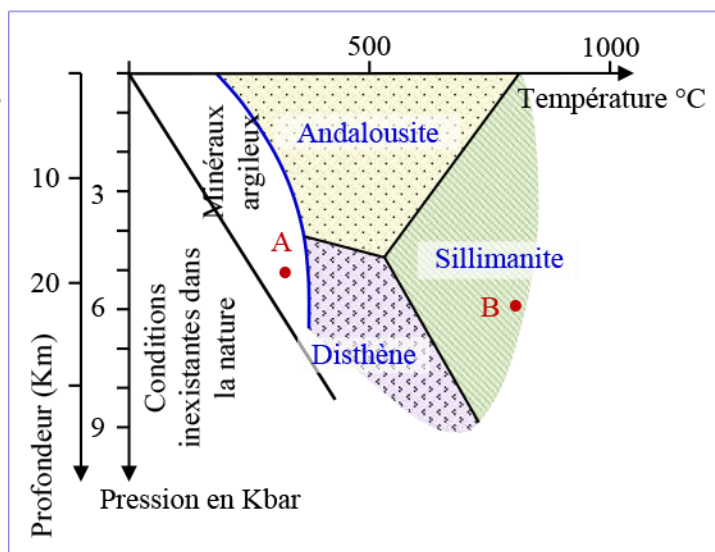
Sur un diagramme pression/température, trois droites représentent les limites du domaine de stabilité de chaque minéral.

La figure ci-dessous représente le diagramme Pression / Température des domaines de stabilité de minéraux repères (silicates d'alumine: disthène, andalousite et sillimanite).

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

En exploitant ces données :

- 1) Déterminez le domaine de stabilité de chaque minéral de ces silicates d'alumine.
- 2) Définissez le minéral indicateur ou index.
- 3) Donnez une définition au métamorphisme.



- 1) Expérimentalement on observe que chaque minéral apparait de façon stable dans des conditions bien déterminées de pression et de température, le changement de ces conditions entraîne la disparition de certains minéraux qui deviennent instable, et l'apparition d'autres minéraux stables.

Par exemple, quand une roche passe des conditions A aux conditions B, il y'a apparition du disthène en premier et avec l'augmentation progressive de la température le disthène disparaît pour donner la sillimanite.

Chaque minéral se trouve stable dans certaines valeurs de pression et de température, l'ensemble de ces valeurs constitue le domaine de stabilité du minéral :

- ✓ Pour l'andalousite : $P \leq 5 \text{ Kbar}$ et $200^\circ\text{C} \leq T \leq 700^\circ\text{C}$
(Température et pression faible).
- ✓ Pour le disthène : $5 \text{ Kbar} \leq P \leq 10 \text{ Kbar}$ et $200^\circ\text{C} \leq T \leq 600^\circ\text{C}$
(Température faible et pression élevée).
- ✓ Pour la Sillimanite : $P \leq 10 \text{ Kbar}$ et $500^\circ\text{C} \leq T \leq 700^\circ\text{C}$
(Température élevée quelque soit la pression).

2) La présence de l'un de ces minéraux (Andalousite, disthène, sillimanite) dans une roche métamorphique permet d'indiquer les conditions de formation de cette roche (P et T), ces minéraux sont nommés indicateurs (ou index).

Plus le domaine de stabilité d'un minéral est réduit plus il est meilleur indicateur.

3) Le métamorphisme c'est l'ensemble des transformations minéralogiques et structurales à l'état solide, que connaissent les roches préexistantes sous l'effet de l'augmentation de la pression, ou de la température ou des deux facteurs.

② Variation des conditions du métamorphisme dans la nature: (Voir document 8)

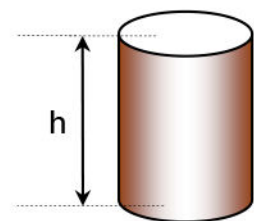
Document 8: Variation des conditions de métamorphisme dans la nature.

★ Les matériaux subissent, dans les profondeurs de la terre, une pression liée au poids et à la densité des roches qui sont au dessus. Cette pression peut être calculée en utilisant la formule suivante :

$$P = \frac{\text{Poids d'une colonne de roche}}{\text{La surface de la base}}$$

$$P = \rho \times h \times g$$

P: Pression en pascals ou N/m^2 ;
 ρ : Masse volumique moyenne de la colonne rocheuse (Kg/m^3);
h: Profondeur ou hauteur de la colonne en m ;
g: Constante de gravitation 9.81 en N/Kg ;
S: surface de la base de la colonne en m^2 .



Modèle simplifié d'une colonne de roche

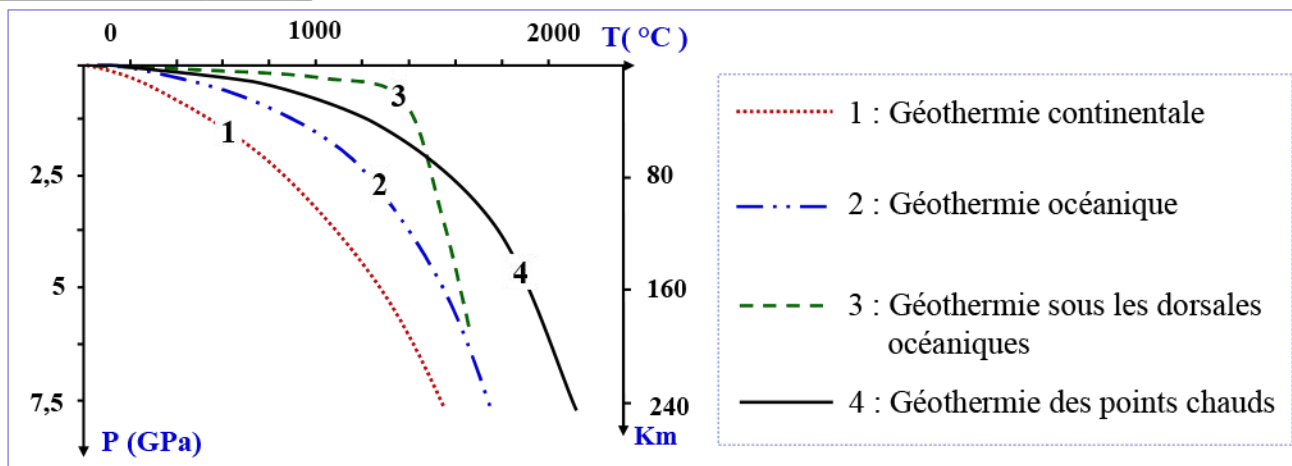
Les roches de la lithosphère sont en réalité soumises à une pression qui est la somme de trois types de pression :

- ✓ Pression des couches sus-jacentes ;
- ✓ Pression tectonique qui résulte de la dynamique des plaques ;
- ✓ Pression des fluides interstitiels.

★ La température augmentation au sein de la Terre en fonction de la profondeur. Cette augmentation est appelée gradient géothermique. Il diffère d'un endroit à l'autre et il est lié à plusieurs facteurs tels que la composition interne de la terre et la nature géologique de la région.

Le graphe ci-dessous présente la variation du gradient géothermique selon la profondeur dans différentes régions de la lithosphère.

Document 8: (Suite).



En exploitant les données de ce document :

- 1) Dégagez les facteurs de variation de la pression en profondeur de la terre.
- 2) Relevez les facteurs de variation de la température en profondeur de la terre.
- 3) Résumez les variations des conditions de métamorphisme dans la nature.

- 1) Les roches de la lithosphère sont soumises à une pression qui est la somme de trois types de pression :
 - ✓ Pression des couches sus-jacentes qui varie selon la profondeur et la densité de ces couches.
 - ✓ Pression tectonique qui varie selon la nature des forces tectoniques (compression ou distension).
 - ✓ Pression des fluides interstitiels comme le CO_2 et la vapeur d'eau.
- 2) Dans la nature, la température augmente en fonction de la profondeur (gradient géothermique), la valeur de cette augmentation varie d'une zone à l'autre. Elle est faible dans les zones géologiquement stables et forte, dans les zones géologiquement actives.
- 3) Les minéraux constituant des roches ne sont stables que dans des domaines définis de température (T) et de pression (P). Lors d'un cycle orogénique, les roches sont entraînées pour des raisons tectoniques vers la profondeur : il y a transformation des minéraux par réaction entre eux. De nouveaux assemblages apparaissent, typiques des conditions P-T rencontrées durant ce parcours : c'est le métamorphisme.

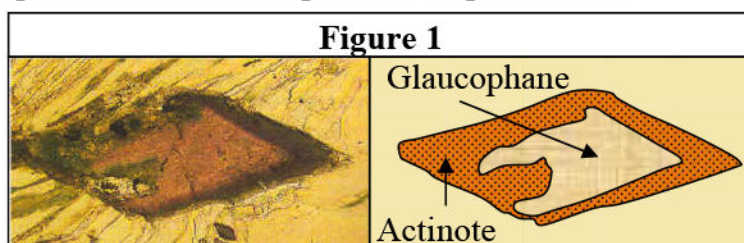
IV – La séquence, la série et le faciès métamorphiques.

① Notion de séquence métamorphique: (Voir document 9)

Document 9: Variation des conditions de métamorphisme dans la nature.

Malgré la stabilité de la composition chimique générale, l'apparition/disparition des minéraux index se succèdent selon les variations de la pression et de la température en profondeur.

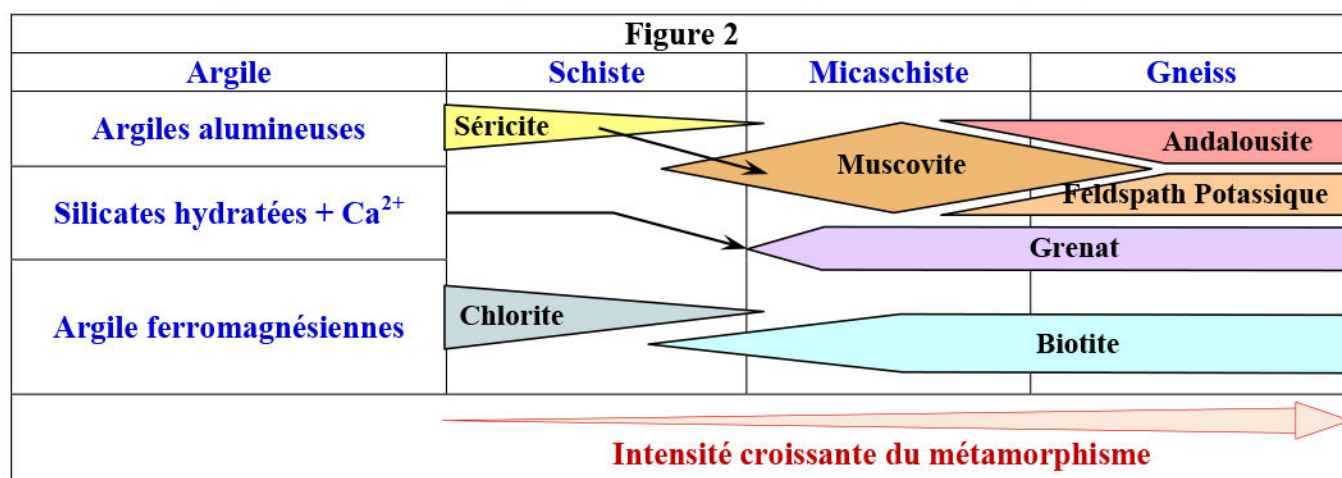
★ La figure 1, ci-contre, présente une observation au microscope polarisant d'une lame mince du gabbro (Constituant la croûte océanique), avec un schéma d'interprétation de cette observation.



- 1) Cette figure met en évidence un des phénomènes caractérisant le métamorphisme. Décrivez ce phénomène.

Document 9: (Suite)

★ Le tableau de la figure 2, présente la succession d'apparition de minéraux index selon les conditions de la pression et de la température dans une séquence métamorphique :



★ Le tableau de la figure 3, présente la succession de minéraux indicateurs dans une séquence métamorphique de roche argileuse.

Figure 3

Roches	transformations	Minéraux indicateurs	Degré de métamorphisme
Micaschiste à muscovite	Chlorite + Muscovite	Muscovite + Chlorite	
Micaschiste à deux micas	Grenat + Biotite	Muscovite restante	
Gneiss à deux micas	Quartz + Muscovite + Biotite	Disparition des Chlorites	
Gneiss à Biotite	Sillimanite + Orthose + Quartz + Biotite	Biotite + sillimanite (Disparition de la muscovite)	
Gneiss blanc	Cordiérite + Quartz	Disparition de la biotite	

2) En exploitant toutes les données de ce document, définissez la séquence métamorphique.

- 1) En s'éloignant de l'axe de la dorsale, le gabbro se refroidit et s'hydrate. Les minéraux d'origine ne sont plus stables, ils se transforment en actinote et chlorite. C'est le schiste vert.

Dans la zone de subduction, le gabbro subit l'élévation de la pression, ses minéraux se transforment en libérant de l'eau. Les minéraux du schiste vert ne sont plus stables. Ils se transforment glaucophane. C'est le schiste bleu.

Quand une roche est soumise à l'effet des facteurs de métamorphisme, elle subit un phénomène de réarrangement ionique qui vient perturber la structure de certains minéraux. Dans notre cas, la réaction est alors la suivante :



- 2) D'après les données de la figure 2 et 3, on observe qu'avec l'augmentation de la température et de la pression (Intensité croissante du métamorphisme), les roches d'origine se transforment en nouvelles roches, ainsi que la disparition de certains minéraux et l'apparition d'autres.

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 (Argileuse), issue des roches sédimentaires :
Argile → schiste → micaschiste → gneiss.
- ✓ La séquence basique issue des roches magmatiques basiques.
Basalte → gabbro ophiolitique → schiste bleu → éclogite.

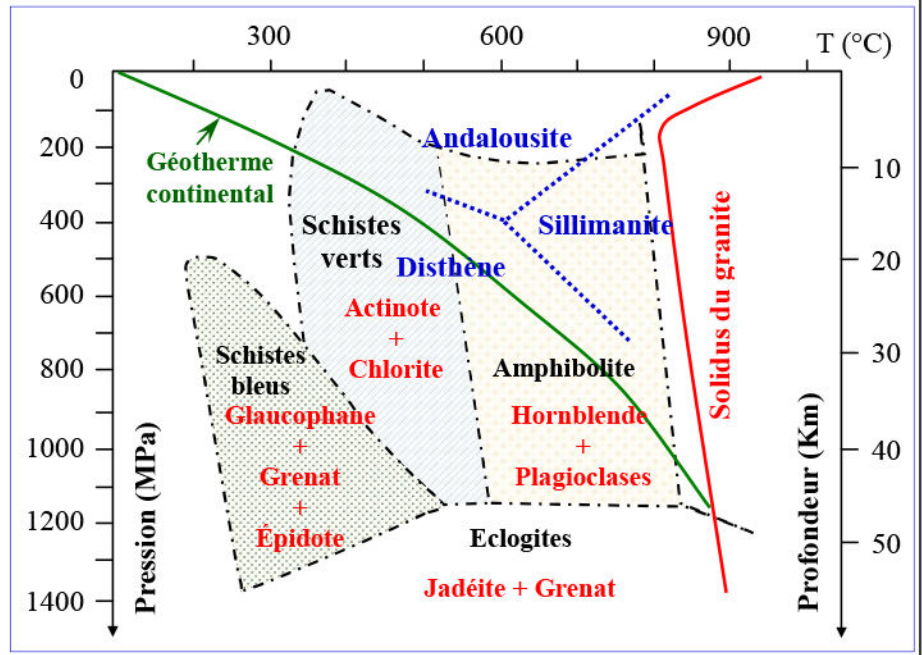
② Notion de faciès et de série métamorphiques: (Voir document 10)

Document 10: Notion de faciès et de séries métamorphiques.

Des roches et des minéraux sont soumis à des conditions expérimentales de pression (P) et de température (T) similaires à celles qui règnent à différentes profondeurs.

Les résultats sont reportés sur la figure ci-contre qui représente le diagramme des champs des différents faciès métamorphiques en fonction des conditions de T et de P.

Donnez le faciès métamorphique d'une roche de métagabbro contenant le feldspath, glaucophane et grenat, et les conditions de sa formation, puis définissez le faciès métamorphique et la série métamorphique.



Selon les conditions de pression et de température on peut déterminer le domaine de stabilité d'un ensemble de minéraux, ce domaine s'appelle faciès métamorphique.

Si on applique les mêmes conditions sur d'autres roches, on obtient les mêmes minéraux ou des associations proches.

Par exemple, une argile se métamorphose en micaschiste à glaucophane dans le faciès des schistes bleus et en micaschiste à disthène ou sillimanite dans le faciès des amphibolites.

La présence de glaucophane et grenat dans le métagabbro, indique que cette roche a un faciès métamorphique de schiste bleu, donc les conditions de formation du métagabbro sont :

- ✓ Température entre 100°C et 350°C ;
- ✓ Pression entre 500 MPa et 1300 MPa ;
- ✓ Profondeur entre 20 Km et 55 Km.

Définition du faciès métamorphique :

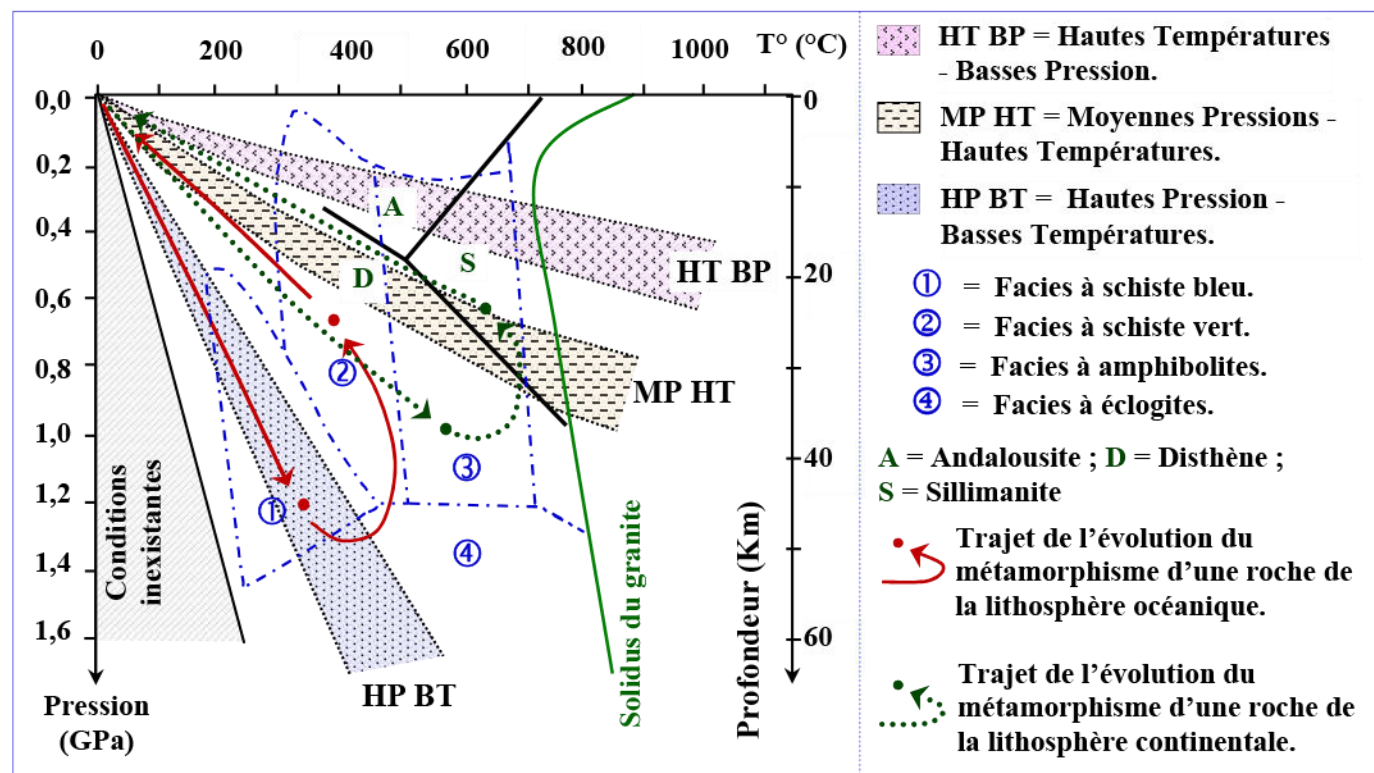
Le faciès métamorphique est un assemblage de minéraux qui apparaissent dans une roche métamorphique dans un champ précis de température et de pression, cet assemblage dépend des conditions de métamorphisme (P et T) et pas de la nature de la roche mère. La présence de cet assemblage de minéraux dans une roche nous renseigne sur les conditions de formation de cette roche.

Définition de la série métamorphique :

Les séries métamorphiques correspondent à la succession de différentes roches métamorphiques le long d'un gradient pression/température.

Document 11: Domaines et types de métamorphisme.

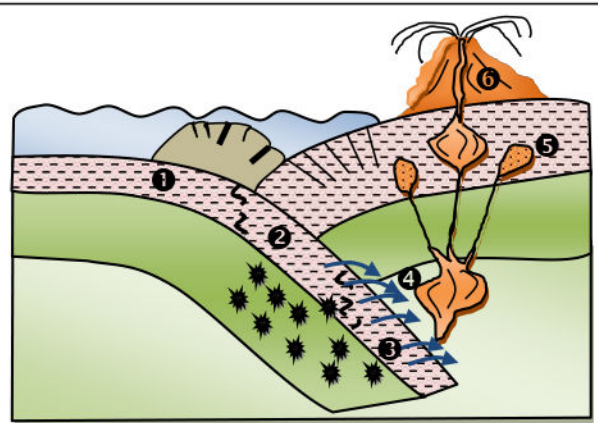
Lorsque l'on se déplace dans une zone affectée par le métamorphisme, les différentes roches témoignent de conditions variables, progressives, depuis les faibles degrés jusque, parfois, les conditions de l'anatexis. Les conditions dont témoignent ces roches permettent de tracer une évolution régulière dans le diagramme P-T : on parle de gradient métamorphique (Figure ci-dessous).



Les trois domaines colorés (HT BP, MP HT et HP BT) matérialisent les évolutions métamorphiques les plus souvent enregistrées par les roches. Ce sont les principaux gradients métamorphiques.

Les matériaux océaniques montrent les traces d'une transformation minéralogique à grande profondeur au cours de la subduction.

- ① = Faciès à schiste vert
- ② = Faciès à schiste bleu
- ③ = Faciès à écoligite
- ④ = libération de l'eau, abaissement du point de fusion de la péridotite, fusion partielle.
- ⑤ = cristallisation en profondeur du magma.
- ⑥ = mise en place d'un volcanisme.



En exploitant les données de ce document :

- 1) Déterminez ce qui caractérise chaque type de métamorphisme, en s'appuyant sur les conditions de pression et de température.
- 2) Dégagez les transformations subies par les roches de la lithosphère, selon leurs trajets de l'évolution du métamorphisme représentés sur ce document, et établissez la relation entre ces trajets et les faciès de métamorphisme et les conditions régnant dans les zones de subduction et les zones de collision.

1) Les variations relatives de la pression et de la température permettent de définir des "climats" métamorphiques. Ils concernent la succession des étapes d'un métamorphisme. On peut considérer plusieurs climats métamorphiques. Ils sont définis selon :

- ✓ Un métamorphisme de basse pression et haute température BP HT:
Le gradient géothermique est fort : la température augmente très vite même pour une faible profondeur et aboutit souvent à l'anatexie. Les minéraux caractéristiques sont l'andalousite et la sillimanite.
Ce climat concerne le métamorphisme de contact.
- ✓ Un métamorphisme de moyenne pression et haute température MP HT:
Le gradient géothermique est moyen, Il aboutit souvent à l'anatexie et les minéraux caractéristiques sont le disthène et la sillimanite. Cette série correspond souvent à une tectonique type collision.
- ✓ Un métamorphisme de haute pression basse température HP BT :
Le gradient géothermique est faible : la pression augmente sans élévation importante de la température. Les schistes bleus se forment souvent dans ce contexte qui n'aboutit jamais à l'anatexie. Ce climat s'observe souvent dans les contextes de subduction.

2) Trajet de l'évolution du métamorphisme d'une roche de la lithosphère:

Une roche donnée suit une évolution dans le temps. Elle enregistre minéralogiquement les conditions de pression et de température, ce qui permet de tracer un gradient métamorphique:

⇒ **Le métamorphisme dans les zones de subduction :**

Dans les zones de subduction, les roches de la lithosphère océanique (basalte et gabbro) qui s'enfoncent sous la lithosphère continentale, subissent une forte augmentation de pression et, relativement, une faible augmentation de température. On parle d'un chemin de métamorphisme prograde. Dans ces conditions, la roche va se déshydrater et des minéraux de glaucophane apparaissent, elle se transforme en schistes bleus puis en éclogite caractérisée par le grenat et la jadéite.

Le métamorphisme dans ce cas est un métamorphisme dynamique.

Lorsque la convergence ralentit puis s'arrête, les roches se réchauffent alors qu'elles commencent à remonter (P diminue alors que T augmente encore) Lorsque la remontée s'accroît, P et T diminue ensemble. On parle d'un chemin de métamorphisme rétrograde.

⇒ **Le métamorphisme dans les zones de collision :**

Dans les zones de collision les roches lithosphériques continentales subissent une forte augmentation de la pression et de la température, elles se transforment en schiste vert puis en amphibolites caractérisées par le disthène ou la sillimanite qui se forment dans des conditions de pression et de température moyennes à fortes. Dans ce cas on parle de métamorphisme thermodynamique.

⇒ **Remarque : Le métamorphisme thermique :**

Au cours de la montée des magmas dans les fissures de la croûte océanique, les roches encaissantes sont soumises à une augmentation brutale de la température à basse pression on parle de métamorphisme thermique ou métamorphisme de contact.