

Introduction:

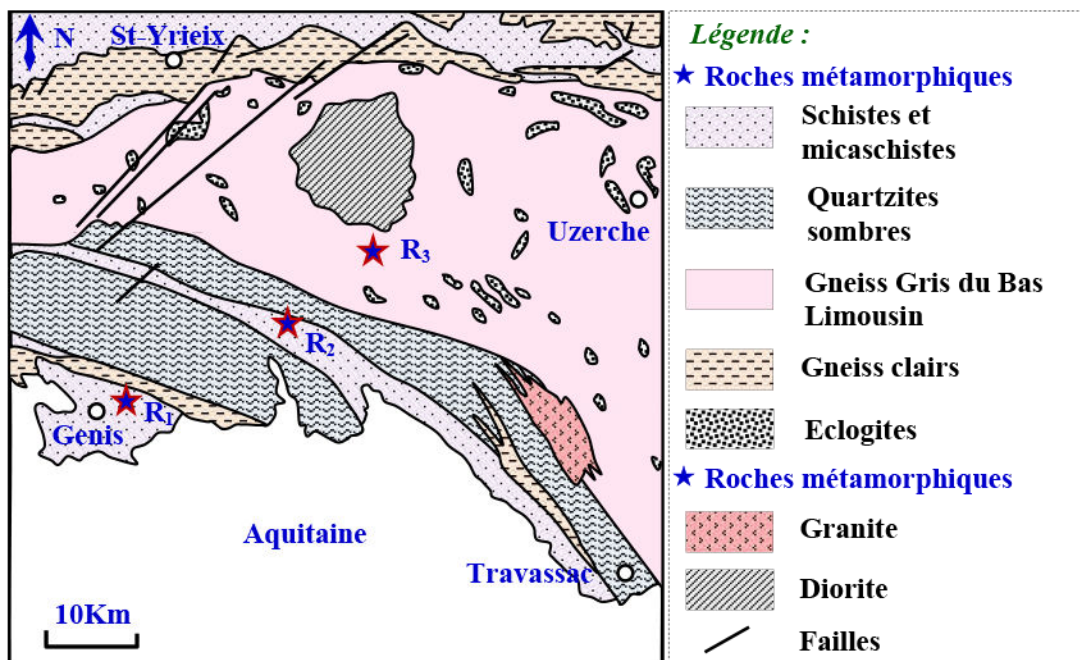
I – Les caractéristiques structurales et minéralogiques des roches métamorphiques des zones de collision.

- 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.



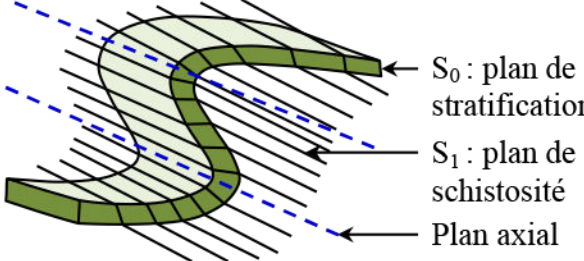
⇒ Décrivez la répartition des roches métamorphiques dans la région d'Uzerche.

Document 1: (Suite).

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

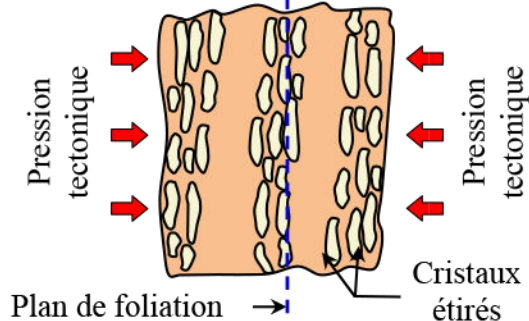
La roche	R_1 (Schiste vert)	R_2 (Micaschiste)	R_3 (Gneiss)
Observation à l'œil nu			

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.



Cristaux étirés


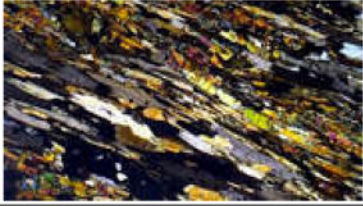
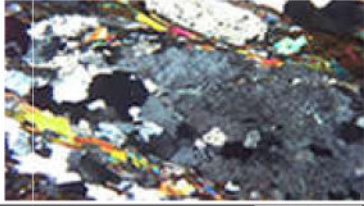

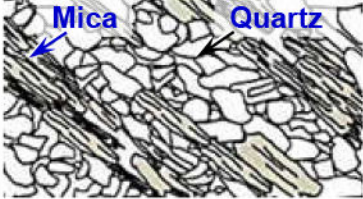
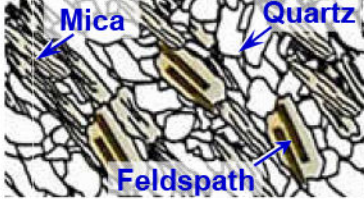
La foliation : est une structuration en plans distincts des roches métamorphiques. La structure est marquée par l'orientation préférentielle de minéraux visibles à l'œil nu. Il y-a le plus souvent une différenciation pétrographique nette.

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

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:

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

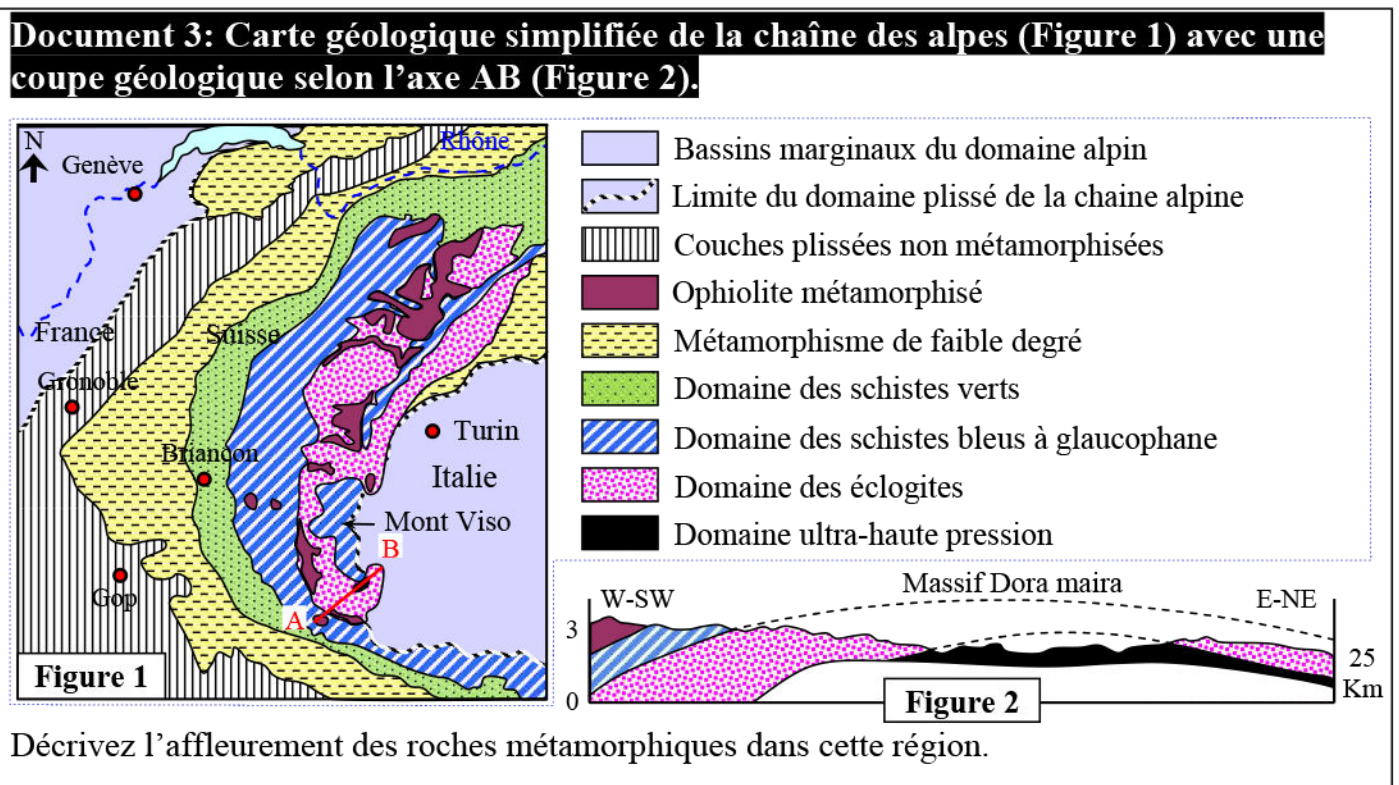
⇒ Le caractère commun des roches métamorphiques et leur origine:

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

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



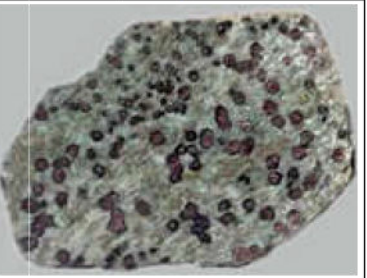

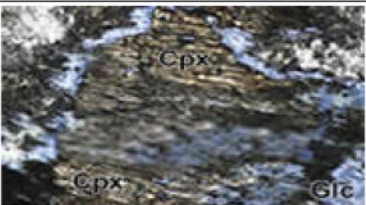
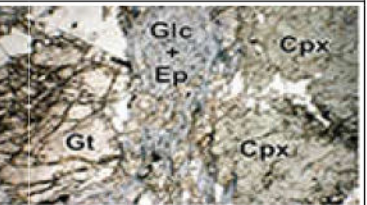
Dans les Alpes franco-italiennes, les roches sédimentaires et cristallines ont toutes subi un métamorphisme, mais ceci a été d'intensité très variable selon la région considérée.

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



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)

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

2)

III – Les facteurs du métamorphisme.

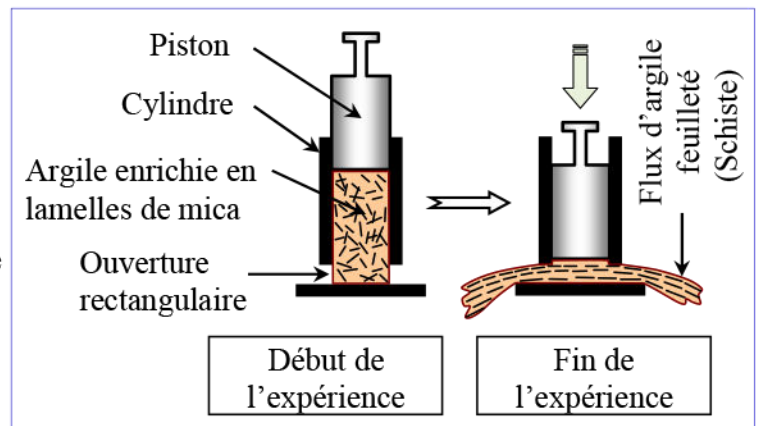
① Mise en évidence des conditions du métamorphisme:

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.

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) :

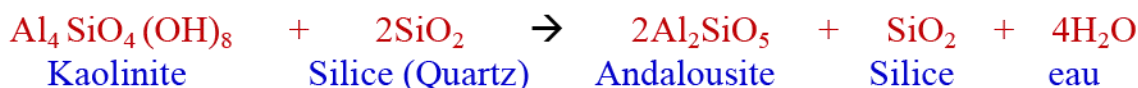
- ✓ A la température de 500°C, la Kaolinite (Silicate d'alumine hydraté) se transforme en métakaolinite (Silicate d'alumine déshydraté).
- ✓ A 870°C, le quartz se transforme en tridymite, et la métakaolinite en mullite.

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.

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.

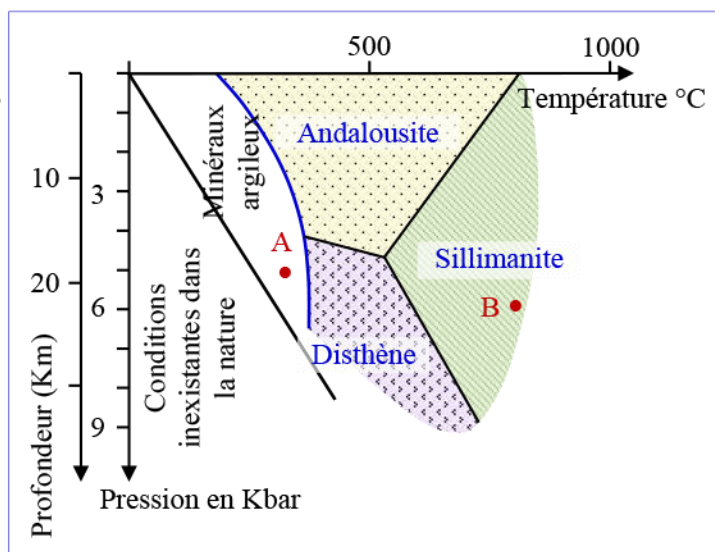
Sur un diagramme pression/température, trois droites représentent les limites du domaine de stabilité de chaque minéral.

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)

2)

3)

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

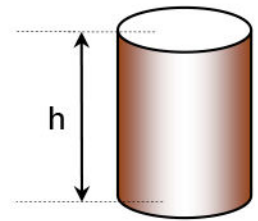
Document 8: Variation des conditions de métamorphisme dans la nature.

★ 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

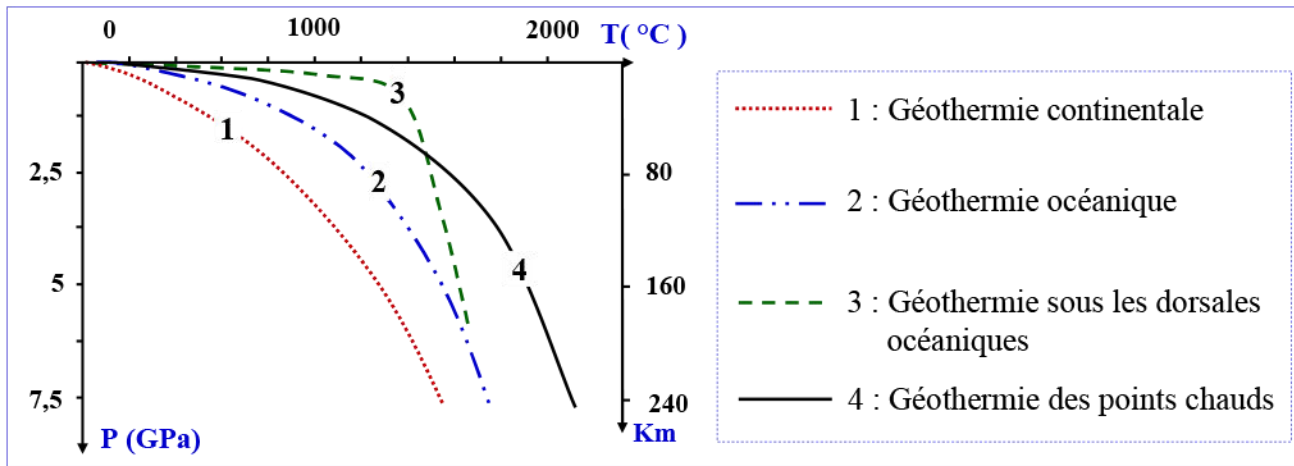
Les roches de la lithosphère sont en réalité soumises à une pression qui est la somme de trois types de pression :

- ✓ 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)
- 2)
- 3)

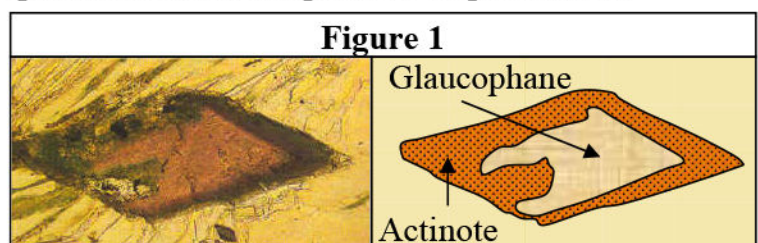
IV – La séquence, la série et le faciès métamorphiques.

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.

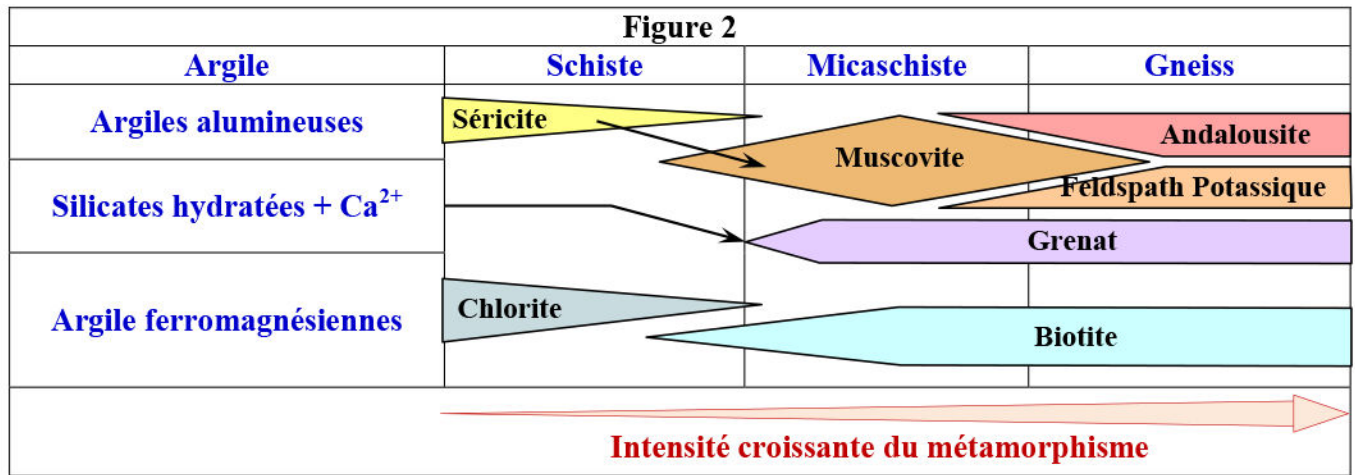
★ La figure 1, ci-contre, présente une observation au microscope polarisant d'une lame mince du gabbro (Constituant la croûte océanique), avec un schéma d'interprétation de cette observation.



- 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)
- 2)

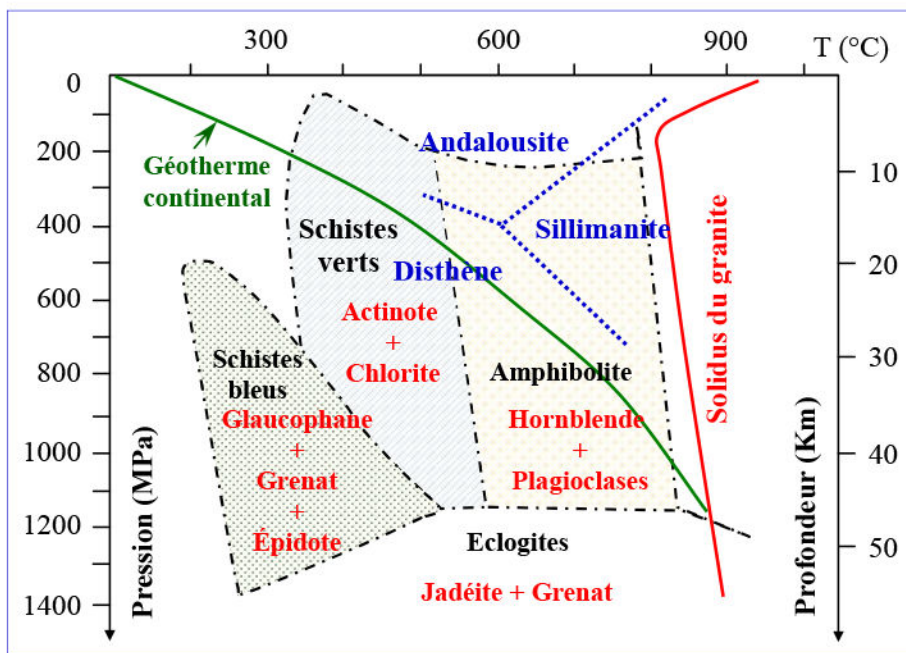
② Notion de faciès et de série métamorphiques: (Voir document 10)

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.

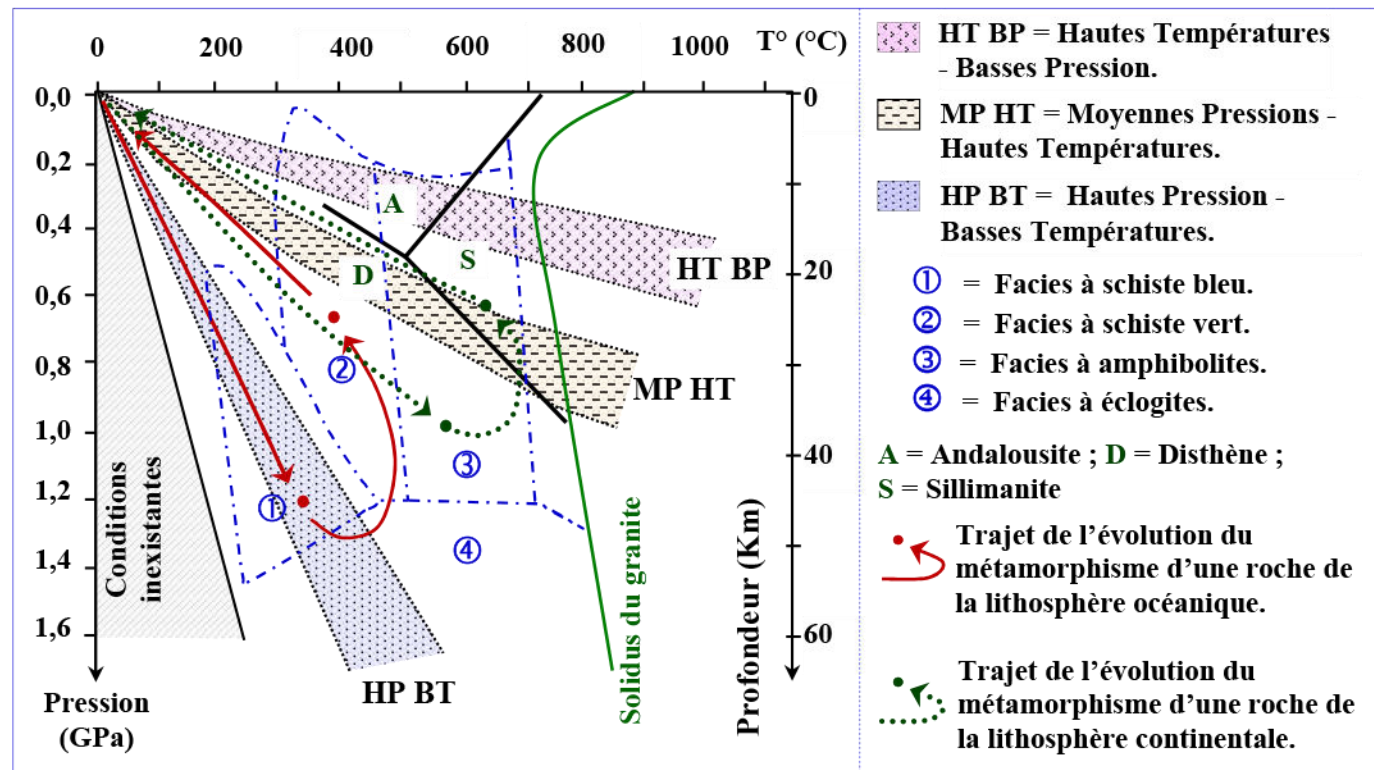


Définition du faciès métamorphique :

Définition de la série métamorphique :

Document 11: Domaines et types de métamorphisme.

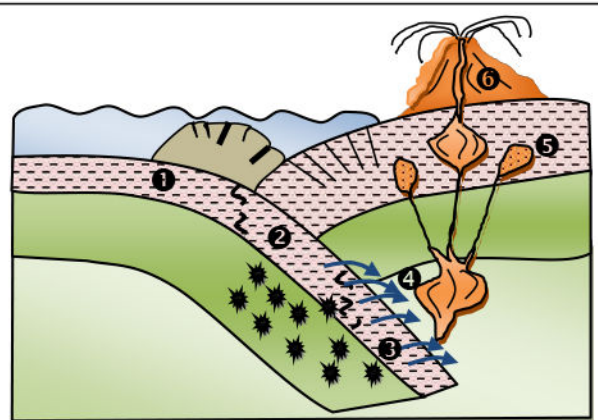
Lorsque l'on se déplace dans une zone affectée par le métamorphisme, les différentes roches témoignent de conditions variables, progressives, depuis les faibles degrés jusque, parfois, les conditions de l'anatexis. Les conditions dont témoignent ces roches permettent de tracer une évolution régulière 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)

2)

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

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

⇒ **Remarque : Le métamorphisme thermique :**