



Le métamorphisme et sa relation avec la tectonique des plaques

Introduction : Le métamorphisme est l'ensemble des modifications minéralogiques et structurales d'une roche préexistante, à l'état solide sous l'effet de la température, et de la pression, il donne des roches métamorphiques comme (schiste, gneiss ...)

Dans les parties profondes des chaînes de montagnes récentes ou anciennes on trouve que des roches métamorphiques et granitiques. En effet ces roches arrivent à la surface suite aux mouvements tectoniques ascendants et l'érosion, l'affleurement de ces roches à la surface constitue des témoins des conditions physiques (P et T) qui régnaient en profondeur lors de la formation de ces roches.

- ✚ Quelles sont les caractéristiques des roches métamorphiques ?
- ✚ Quelles sont les conditions de la formation des roches métamorphiques? Et quelle est sa relation avec les chaînes de montagnes?

I- Les caractéristiques minéralogiques et structurales des roches métamorphiques:

1- Données de terrain :

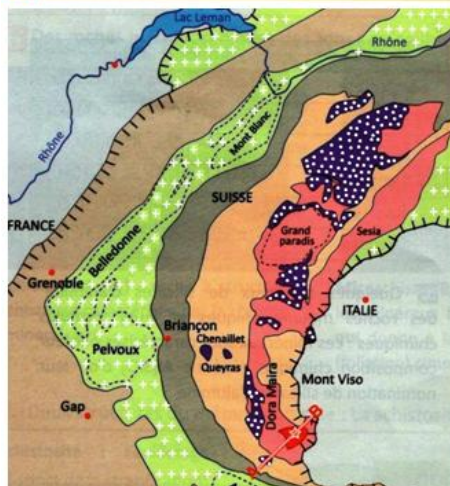
Document 01

a Affleurement des roches métamorphiques dans une chaîne de montagnes



Les ophiolites subissent des transformations lors de leur enfouissement dans les zones de subduction, ce qui conduit à la formation des roches métamorphiques. L'observation de ces roches n'est possible que dans des affleurements ophiolitiques des anciennes zones de subduction comme les chaînes de collision ou bien les chaînes d'obduction.

b Carte géologique simplifiée de la chaîne des Alpes



Dans cette région de la chaîne des Alpes, les roches du plancher océanique (ophiolites) sont métamorphisées à des degrés différents allant du faible degré à l'ultra-haute pression.

- bassins marginaux du domaine alpin
- ▤ limites du domaine plissé de la chaîne alpine
- couches plissées non métamorphisées
- ophiolites métamorphisées
- métamorphisme de faible degré
- domaine des schistes verts
- domaine des schistes bleus à glaucophane
- domaine des écloğites (haute pression)

2- Comparaison des roches métamorphiques :

Document 02

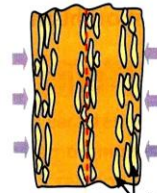
a Deux structures du métamorphisme : La schistosité et la foliation

la schistosité : structure des roches métamorphiques, elle se caractérise par une des cristaux de la roche, cette structure est susceptible de se déliter selon des plans parallèles



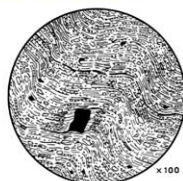
S1 : plan de schistosité
S0 : plan de stratification
Plan axial

Foliation: Structure visible dans certaines roches métamorphiques, elle se caractérise par une différenciation pétrographique avec une alternance des lits clairs quartzo-feldspathiques et des lits sombres micacés, formant ainsi des feuillets,



Cristaux étiés

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



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



Lame mince d'un micaschiste avec un schéma interprétatif : on y trouve des lits de biotite et des lits de quartz



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

c Composition chimique de quelques roches métamorphiques

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

1- Composition chimique de roches métamorphiques (en %)

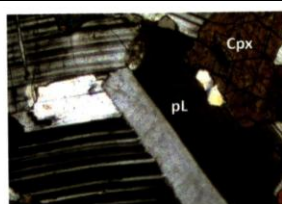
Argile (Roche sédimentaire)	
	58,0
	20,0
	3,2
	3,5
	0,8
	0,45
	2,45
	4,5

2- Composition chimique de l'Argile (roche sédimentaire)

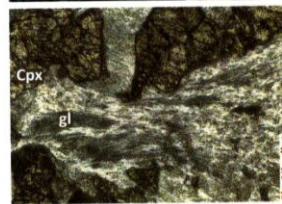
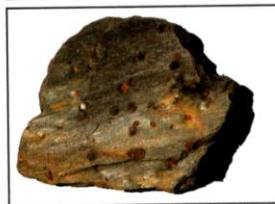
3- Caractéristiques des roches métamorphiques de la zone de subduction :

Document 03

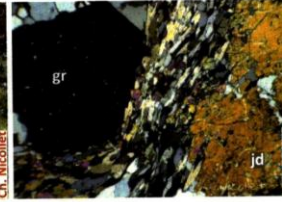
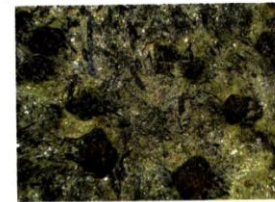
a- Echantillons de roches métamorphiques des zones de subduction



Echantillon de gabbro ophiolitique et sa lame mince observée au microscope polarisant (x 40).



Echantillon de schiste bleu et sa lame mince observée à la lumière polarisée (x 20)



Eclogite et sa lame mince observée au microscope polarisant (x 40)

gl : glaucophane, cpx : clinopyroxène, Pl : plagioclase, gr : grenat, jd : jadéite.

Document 03

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.

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

Le gabbro le schiste bleu et l'éclogite ont la même composition chimique présentée dans le tableau ci-dessous.

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

Exemple d'une séquence métamorphique des zones de subduction

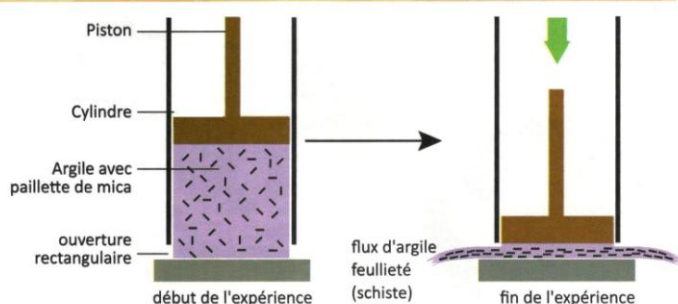
II- Les facteurs de métamorphismes :

1- Mise en évidence des facteurs de métamorphismes :

Document 04

a L'expérience de Gabriel Auguste Daubrée (1814-1896) : Effet de la pression

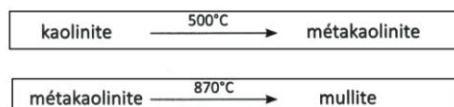
Dans un cylindre à piston et avec des ouvertures rectangulaires à sa base, un mélange d'argile et de cristaux laminaires de mica est soumis à une haute pression appliquée avec le piston. Les dessins ci-contre résument les données et les résultats de cette expérience.



b Effet de la température sur les minéraux

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 :



Echantillon de kaolinite :

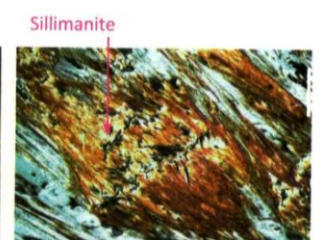
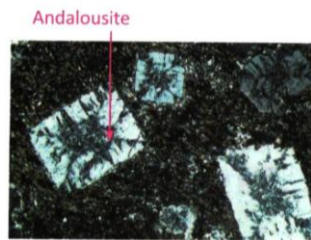
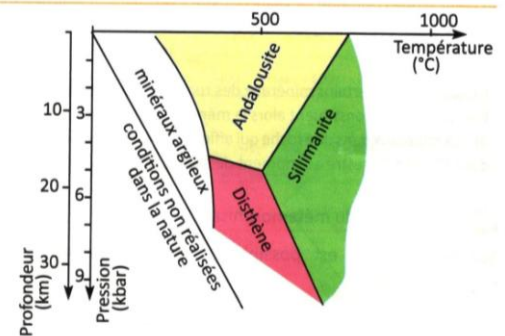
La kaolinite est une espèce minérale composée de silicate d'aluminium, $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$

Document 04

C 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.



2- Notion de minéral indicateur et faciès métamorphique :

Minéral indicateur, c'est un minéral qui est stable dans des conditions précises de température et de pression (ces conditions sont déterminées expérimentalement), la présence de ce minéral dans une roche nous renseigne les conditions de formation de cette roche.

Faciès métamorphique, c'est un assemblage de minéraux qui apparaissent dans une roche métamorphique dans des conditions précises 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 roche nous renseigne les conditions de formation de la roche de façon précise.

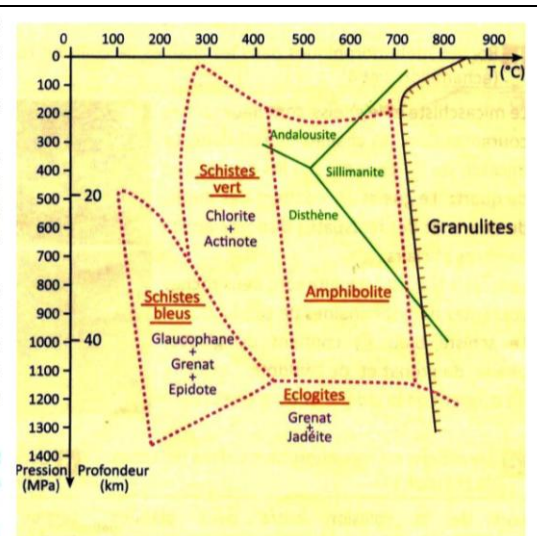
Document 05

Les différents faciès métamorphiques en fonction de la T et de la 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 métamorphose en micaschiste à glaucophane dans le faciès des schistes bleus et en micaschiste à disthène ou sillimanite dans le faciès des amphibolites.

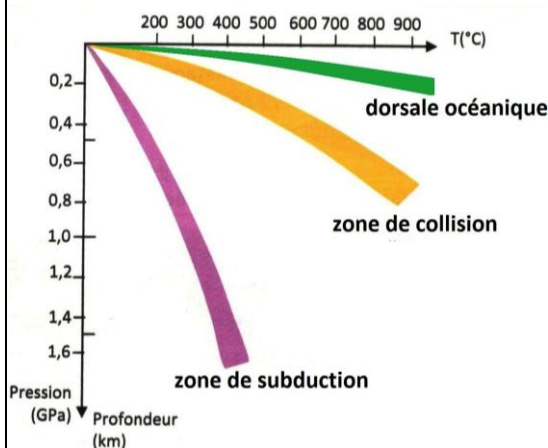
Un faciès métamorphique désigne une catégorie de roches métamorphiques dont la détermination est basée sur l'assemblage minéralogique de la roche.



3- Les conditions de métamorphisme dans la nature :

Document 06

Les conditions du métamorphisme représentées par le diagramme pression température



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 côté 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). Quand une roche s'enfonce, elle subit d'abord les phénomènes de la diagenèse et de la déformation tectoniques, puis au fur et à mesure que la température et la pression augmentent, des réarrangements ioniques viennent perturber la structure de certains minéraux. Il y a alors métamorphisme (changement de la structure et la composition minéralogique).

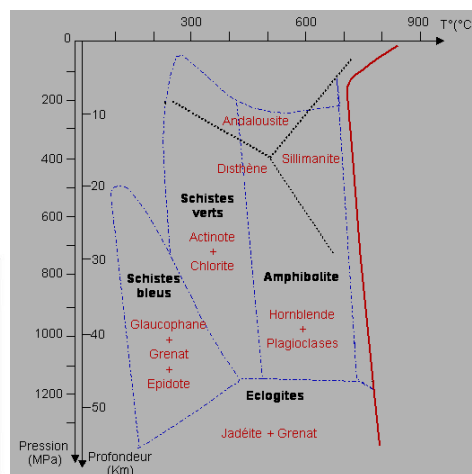
III- Les types de métamorphisme :

1- Métamorphisme dynamique : (métamorphisme de subduction)

Document 07

Dans une chaîne de montagne on a trouvé des affleurements des roches métamorphiques de métagabbro1 et métagabbro 2 au sein d'un complexe ophiolitique, la figure1 montre la composition minéralogique de ces deux roches, et la figure 2 montre les faciès métamorphiques.

Roche	Composition minéralogique
Métagabbro 1	plagioclase Epidote glaucophane
Métagabbro 2	grenat jadéite quartz



- 1- Déterminer les faciès de métagabbro 1 et métagabbro 2, et déduisez les conditions de formation de métagabbro 1 et métagabbro 2 ?
- 2- En passant de métagabbro 1 au métagabbro 2 déterminer le type de métamorphisme, et quelle est le cadre géologique de formation de ces roches ?

2- Métamorphisme thermodynamique : (métamorphisme régional)

Document 08

Dans les zones de collision les unités géologiques se chevauchent les uns sur les autres, ce qui entraîne un enfouissement de certaines unités, au cours de son enfouissement les roches se métamorphosent. Lorsque les forces aux limites compressives ne s'exercent plus, cette croûte épaissie est en déséquilibre gravitaire et s'amincit par érosion, et les roches métamorphosées en profondeur se retrouvent à la surface (La figure 1)

La figure 2 montre le trajet P.T.t d'une roche R

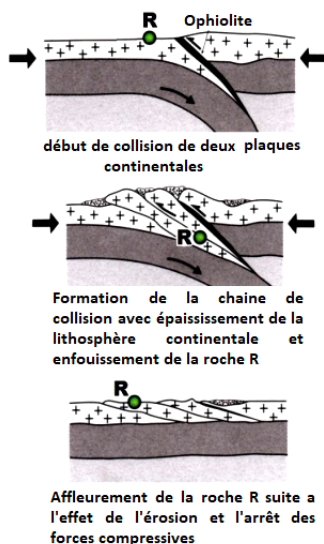


Fig. 1 Les étapes de la formation des roches métamorphiques dans la zone de collision

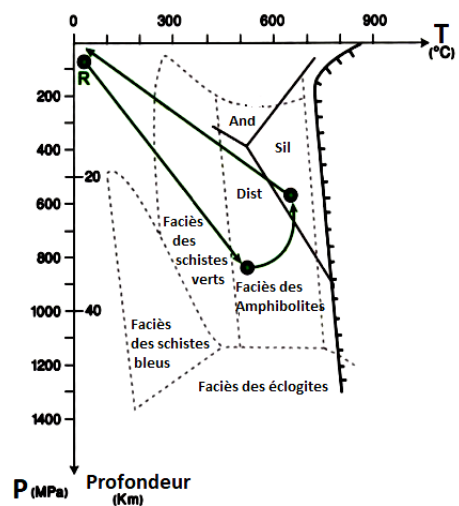
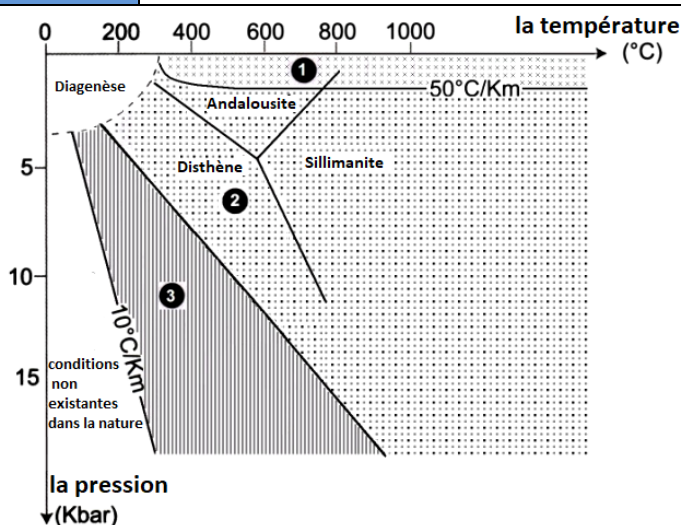


Fig.2 → Trajet pression-température-temps (P-T-t) de la roche R

3- Métamorphisme thermique : (métamorphisme de contact)

Document 09



Les types de métamorphisme

1

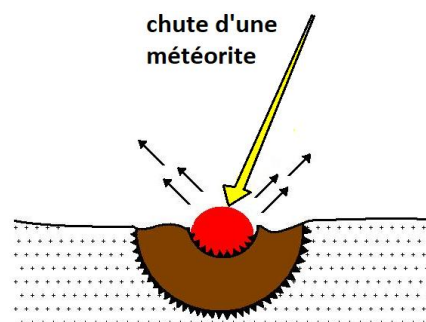
2

3

Conclusion :

Métamorphisme particulier :

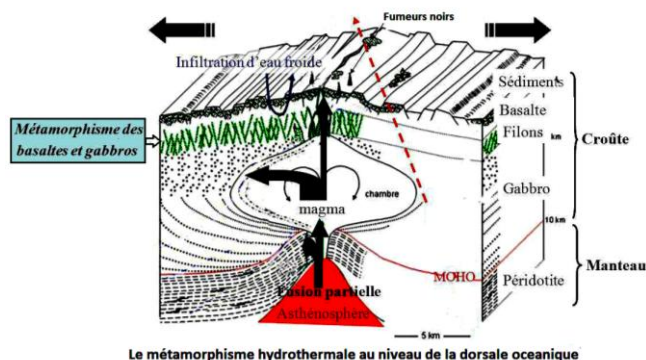
© **Le métamorphisme d'impact** : il est la conséquence de la chute d'une météorite à la surface de la planète. Le choc engendre des températures et des pressions énormément élevées qui transforment les minéraux de la roche choquées, des températures et des pressions qui sont bien au-delà de celles atteintes dans le métamorphisme régional mais ne dure que quelques secondes.



Cratère d'impact

roches très métamorphisées (métamorphisme d'impact)

© **Le métamorphisme hydrothermal** : Ce type de métamorphisme se caractérise par des transformations d'une roche originelle par apport d'éléments chimiques lié à la circulation de fluides. Il concerne essentiellement la lithosphère océanique. En effet, dès sa mise en place au niveau de la dorsale, la croûte subit de profondes transformations par un hydrothermalisme de haute température qui bouleverse les associations minérales initiales par hydratation et échanges d'ions en réponse à la circulation active de l'eau de mer dans ces roches très fracturées. Les phénomènes essentiels sont le passage dans le faciès amphibolites puis schistes verts des gabbros.



Le métamorphisme hydrothermal au niveau de la dorsale océanique

Exercice 01 :

1 Vrai ou faux:

- A.** Andalousite, disthène et sillimanite sont de composition chimique voisine..... ☐
- B.** Un minéral index peut se rencontrer de part et d'autre d'un isograde ☐
- C.** Le métamorphisme de contact est dû à l'augmentation simultanée de P et T..... ☐
- D.** Les gabbros subduits évoluent en schiste bleu puis en éclogite ☐
- E.** La foliation est une structuration en plans distincts des roches métamorphiques..... ☐

2 Questions à choix multiples :

Pour chacune des propositions suivantes, il y a une seule suggestion correcte, mettez une ☐ dans la case qui lui correspond

1. En ce qui concerne les conditions de métamorphisme :

- ☐ **A.** Une roche métamorphique peut se former par fusion partielle.
- ☐ **B.** Une roche métamorphique peut se former suite à une modification de pression et de température.
- ☐ **C.** L'augmentation des conditions de pression et de température modifie la composition chimique d'une roche sans changer sa composition minéralogique lors du métamorphisme.
- ☐ **D.** L'augmentation des conditions de pression et de température provoque toujours la fusion partielle des roches de la croûte continentale

2. La succession des faciès métamorphiques dans la zone de subduction est:

- ☐ **A.** schiste vert, gabbro , schiste bleu.
- ☐ **B.** schiste vert, schiste bleu, éclogite.
- ☐ **C.** schiste bleu, schiste vert, micaschiste.
- ☐ **D.** schiste vert, schiste bleu, micaschiste.

3. Le métamorphisme MT-MP est un:

- ☐ **A.** métamorphisme régional.
- ☐ **B.** métamorphisme de contact.
- ☐ **C.** métamorphisme dynamique.
- ☐ **D.** métamorphisme de subduction

4. Parmi les roches suivantes il y a une roche métamorphique, qui est:

- ☐ **A.** le gabbro.
- ☐ **B.** le basalte.
- ☐ **C.** la péridotite.
- ☐ **D.** l'éclogite.

5. On appelle géotherme:

- ☐ **A.** Une augmentation de la pression avec la profondeur représentée par une courbe $P=f(T)$.
- ☐ **B.** Une diminution de la pression avec la profondeur représentée par une courbe $T=f(P)$.
- ☐ **C.** Une diminution de la pression avec la profondeur représentée par une courbe $T=f(P)$.
- ☐ **D.** Une augmentation de la température avec la profondeur représentée par une courbe $T=f(P)$.

6. Les roches métamorphiques sont :

- ☐ **A.** formées à partir du refroidissement d'un magma.
- ☐ **B.** le résultat de transformations chimiques affectant les minéraux à l'état liquide.
- ☐ **C.** constituées des mêmes minéraux que les roches dont elles sont issues.
- ☐ **D.** les témoins de conditions anciennes de la température et de la pression.

7. La séquence métamorphique est un ensemble de :

- ☐ **A.** roches magmatiques résultantes du refroidissement du même magma.
- ☐ **B.** roches ayant subi un même degré de métamorphisme.
- ☐ **C.** minéraux ayant subi une température croissante.
- ☐ **D.** roches métamorphiques qui résultent de la même roche mère.

8. Parmi ces minéraux il y a un minéral index de haute température. Lequel ?

- ☐ **A.** chlorite.
- ☐ **B.** muscovite.
- ☐ **C.** sillimanite.
- ☐ **D.** biotite.