

## Chapitre 2 : Le métamorphisme et sa relation avec la tectonique des plaques

### Introduction :

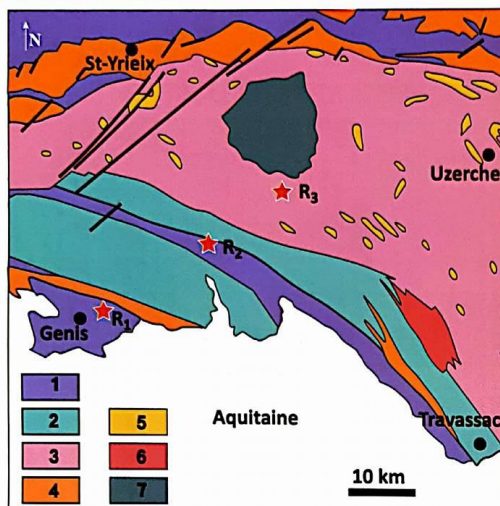
Le métamorphisme est l'ensemble des modifications minéralogiques et texturales d'une roche préexistante, à l'état solide et sous l'effet de la température, et de la pression, il donne des roches métamorphiques.

- 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 des zones de collision :

#### 1. Observations de roches métamorphiques dans les chaînes de collision :

a Carte géologique simplifiée de la région d'Uzerche (France)



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

6. Granite
7. diorite

b Des roches métamorphiques des zones de collision (Les roches R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub> et R<sub>3</sub> indiquées sur la carte)



**Schiste vert (R<sub>1</sub>)** : roche à structure schisteuse caractérisée par la chlorite (minéral vert).



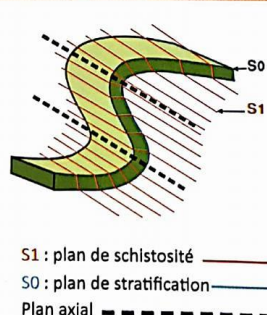
**Micaschiste (R<sub>2</sub>)** : roche qui brille dont les minéraux forment des lits fins ce qui donne à la roche un aspect folié (foliation) simple à cliver.



**Gneiss (R<sub>3</sub>)** : roche non clivable, avec une alternance de lits clairs et de lits sombres.

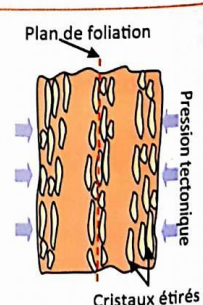
c Deux structures du métamorphisme : La schistosité et la foliation

**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.



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

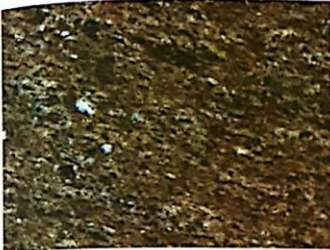


**Foliation** : est une structuration en plans distincts des roches métamorphiques. La structure est marquée par l'orientation préférentielle de minéraux visibles à l'œil nu. Il y a le plus souvent une différenciation pétrographique nette.


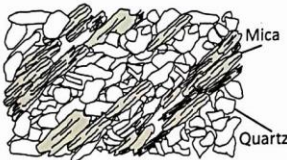
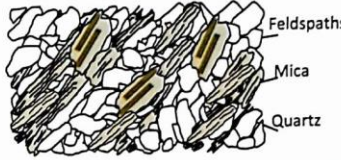


- 1- Décrivez la répartition des roches métamorphiques dans la région d'Uzerche.
- 2- Dégagez à partir du doc b et c les caractéristiques structurales des roches métamorphiques.

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

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

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,

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

Eléments chimiques	Roches métamorphiques		
	Schiste	Micaschiste	Gneiss
SiO <sub>2</sub>	60,2	60,9	68,7
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20,9	19,1	16,2
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	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 <sub>2</sub> O	2,45	2,1	3,8
K <sub>2</sub> O	4,1	3,7	3

Minéraux	Formule chimique
Plagioclase	(Na,Ca)(Si,Al <sub>3</sub> )O <sub>8</sub>
Augite	(Ca,Mg,Fe) <sub>2</sub> (Si,Al) <sub>2</sub> O <sub>6</sub>
Epidote	Ca <sub>2</sub> FeAl <sub>2</sub> (Si <sub>2</sub> O <sub>7</sub> )(SiO <sub>4</sub> )(O,OH)
Glaucophane	Na <sub>2</sub> (Mg,Fe <sup>2+</sup> ) <sub>3</sub> Al <sub>2</sub> Si <sub>8</sub> O <sub>22</sub> (OH) <sub>2</sub>
Jadéite	Na <sub>2</sub> Al(Si <sub>2</sub> O <sub>6</sub> )
Grenat	(Fe, Mg,Ca) Si <sub>3</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>12</sub>

**b1** Composition chimique de roches métamorphiques (en %)

Roche métamorphique : roche qui a subi une transformation minéralogique et structurale à l'état solide suite à l'élévation des conditions de la température et de la pression en profondeur.

**b2** Quelques minéraux de silicates d'alumine<sup>2</sup> des roches métamorphiques et leurs formules chimiques : ces minéraux sont caractérisés par leur composition chimique générale Al<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub>, d'où leur nomination de silicates d'alumine

- [illegible]

## 1. Les ophiolites métamorphisées des Alpes :



Document N° 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 (figure 1) avec coupe géologique selon l'axe AB (figure 2):

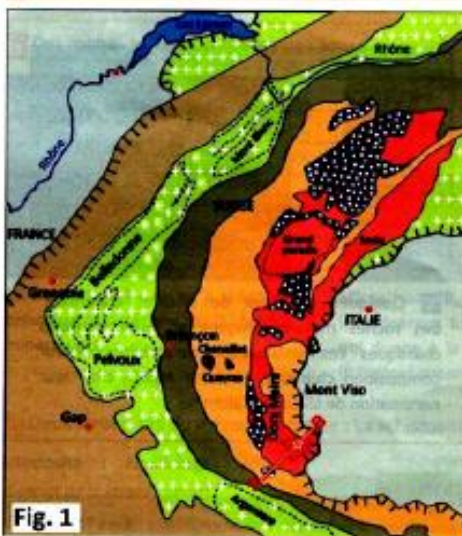


Fig. 1

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 élogites
- domaine ultra-haute pression

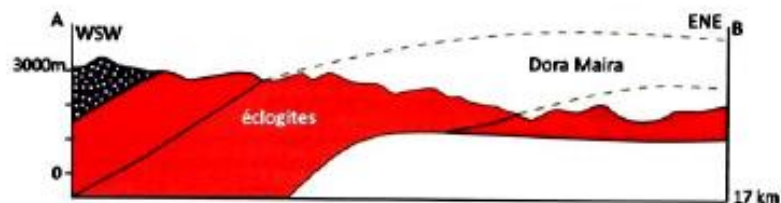


Fig. 2 coupe géologique selon l'axe AB

1- Décrivez la répartition des roches métamorphiques dans cette région.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

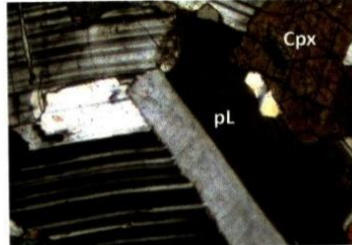
.....

.....

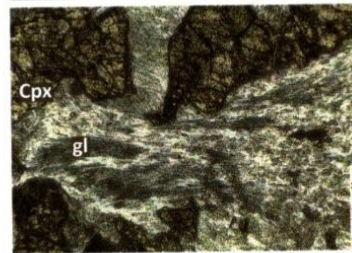
.....

## 2. Structure microscopique et composition minéralogique des roches métamorphiques dans les zones de subduction:

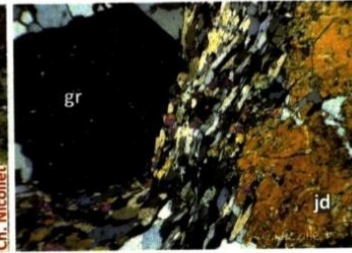
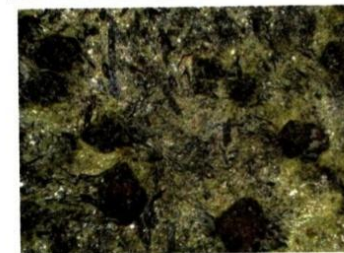
### a Echantillons de roches métamorphiques qui caractérisent les zones de subduction



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.

**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 <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O
Pourcentage	47,1	2,3	14,2	11	12,7	9,9	2,2	0,4

1- Comparez les microstructures et la composition des 3 roches.

2- Dégagez le caractère commun des roches métamorphiques .

.....

.....

.....

.....

.....

.....

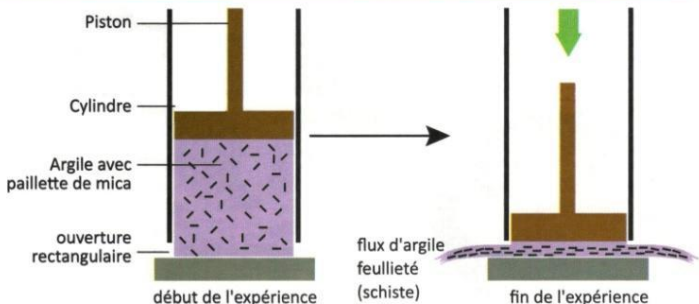


### III. Les facteurs du métamorphisme:

#### 1. Mises en évidence des conditions du métamorphisme :

**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.




The diagram illustrates the experiment in two stages. On the left, 'début de l'expérience' (start of the experiment), a piston is shown above a cylinder containing a mixture of clay ('Argile avec paillette de mica') and mica flakes. The cylinder has rectangular openings at its base. On the right, 'fin de l'expérience' (end of the experiment), the piston has moved down, and the material has been transformed into 'flux d'argile feuilleté (schiste)' (foliated clay flux / schist), showing a distinct layered structure.

**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 :

kaolinite (Silicate d'alumine hydraté)	→ 500°C →	métakaolinite (Silicate d'alumine non hydraté)
métakaolinite (silicate d'alumine non hydraté)	→ 870°C →	mullite (silicate d'alumine non hydraté)
quartz (silice de basse température)	→ 870°C →	tridymite (silice de haute température)

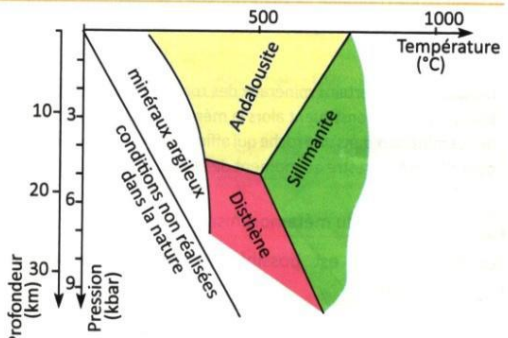


**Echantillon de kaolinite :**  
La kaolinite est une espèce minérale composée de silicate d'aluminium hydraté, de formule  $Al_2Si_2O_5(OH)_4$  du groupe des silicates.

**c** Champs de stabilité des trois silicates d'alumine : andalousite, sillimanite et disthène

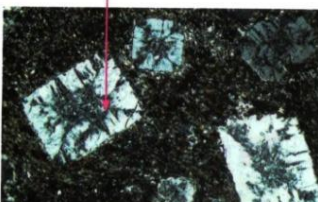
Les travaux expérimentaux ont montré que les trois formes naturelles du silicate d'alumine (andalousite, disthène et sillimanite) n'apparaissent et ne se maintiennent que dans des conditions de température et de pression bien déterminées.

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.

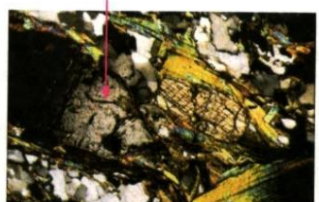


The diagram shows the stability fields for Andalousite (yellow), Sillimanite (green), and Disthène (pink) as a function of temperature (°C) and pressure (kbar). The temperature axis ranges from 500 to 1000°C. The pressure axis ranges from 3 to 9 kbar. A diagonal line separates the 'minéraux argileux' (clay minerals) from 'conditions non réalisées' (unrealized conditions). The depth axis (Profondeur (km)) is also shown, ranging from 10 to 30 km.

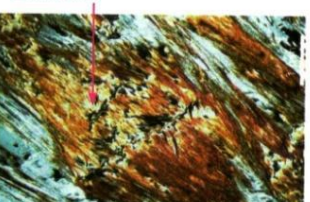
Andalousite



Disthène

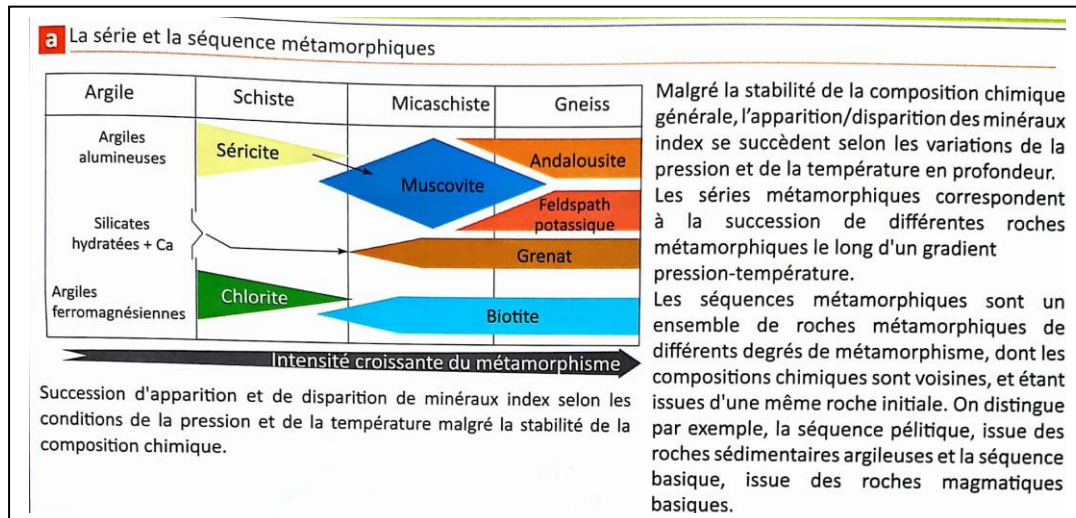


Sillimanite

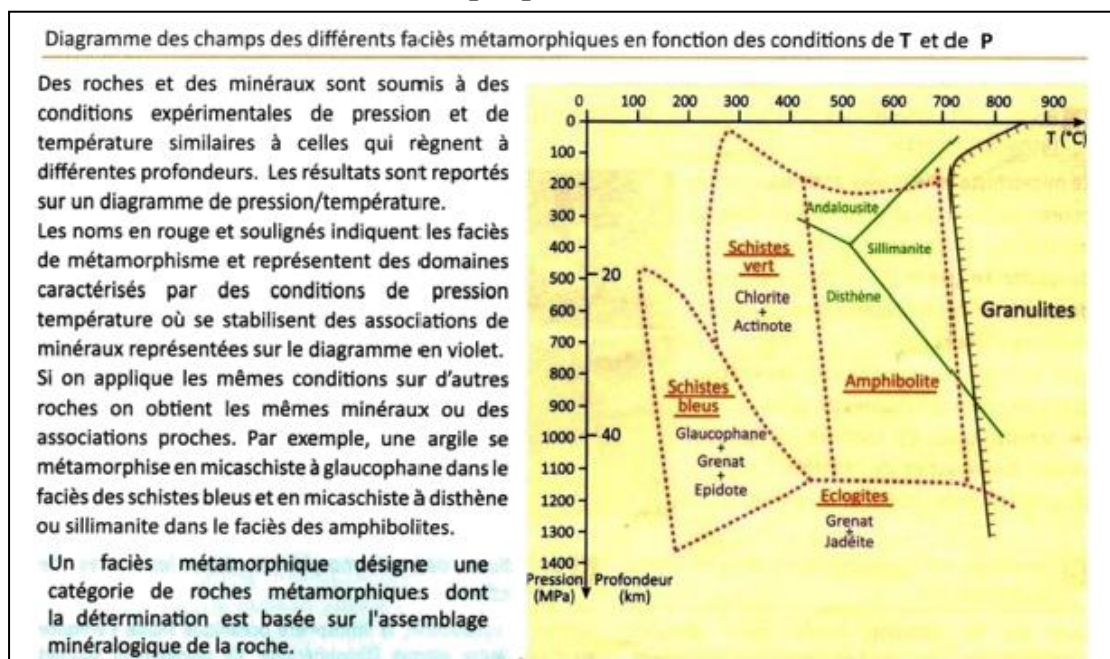


This image shows a full page of white paper with horizontal dotted lines. The lines are evenly spaced and run across the width of the page, providing a guide for handwriting practice. There are no margins, text, or other markings on the page.

## 2. La série et la séquence métamorphique :



## 3. Faciès métamorphiques :





- 
- This image shows a full page of white paper with horizontal blue or grey ruling lines. The lines are evenly spaced and run across the width of the page, providing a template for handwriting practice or general writing. There are no margins, text, or other markings on the page.

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  $3^{\circ}\text{C}$  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  $1^{\circ}\text{C}/100\text{m}$  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 ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ).

#### IV. Les types de métamorphisme:

##### 1. Métamorphisme dynamique (métamorphisme de subduction) :

###### a. Exercice intégré :

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
<b>Métagabbro 1</b>	plagioclase Epidote glaucophane
<b>Métagabbro 2</b>	grenat jadéite glaucophane quartz

Figure 1

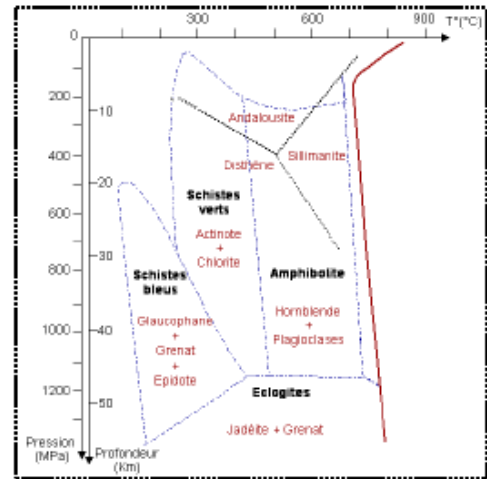
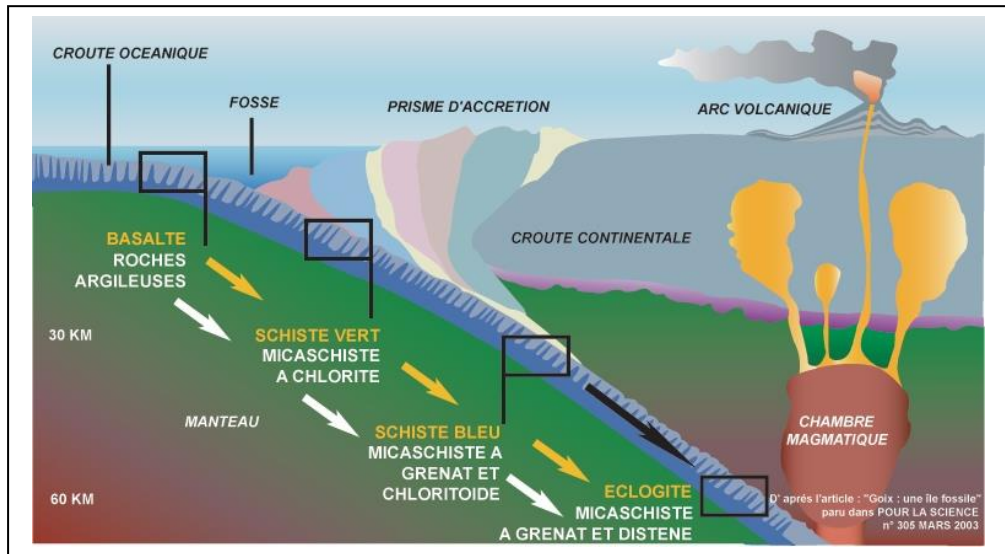


Figure 2

- 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 ?

## b. Conclusion :



## 2. Métamorphisme thermodynamique : (métamorphisme régional) :

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.

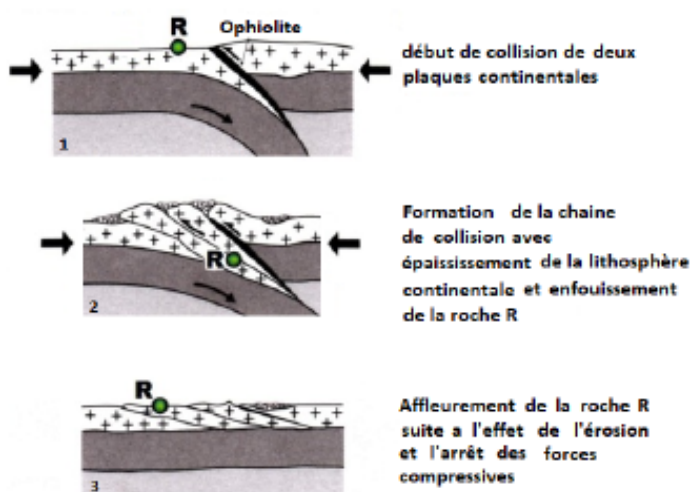


Fig. 1 Les étapes de la formation des roches métamorphiques dans la zone de collision

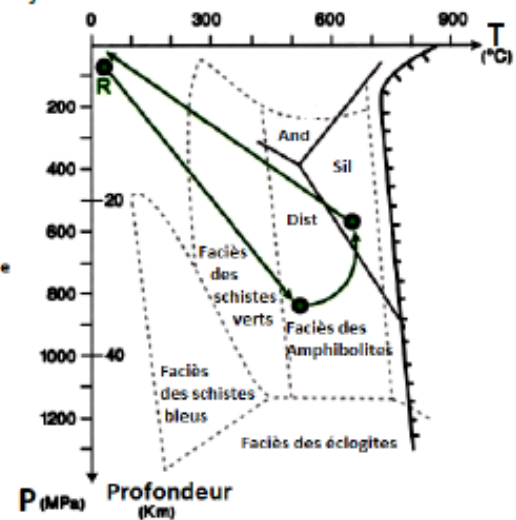
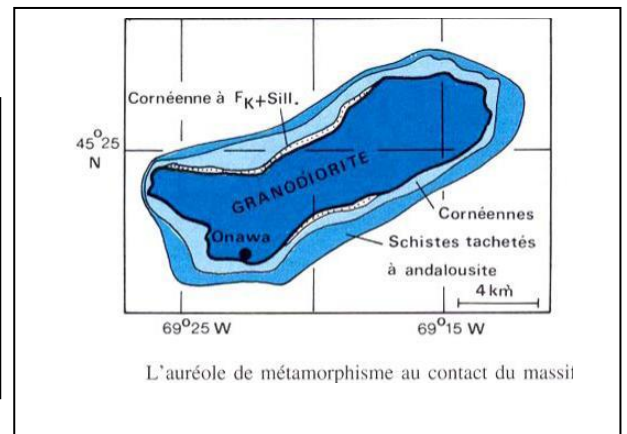
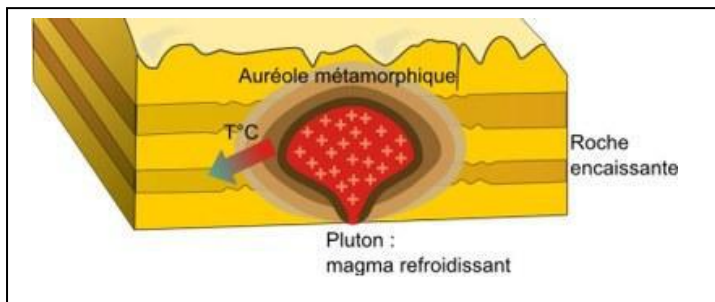


Fig.2 → Trajet pression-température-temps (P-T-t) de la roche R



### 3. Métamorphisme thermique : (métamorphisme de contact) :



#### 4. Bilan :

