



Thème 1B TP 4: du rifting intracontinental à la collision dans les Alpes

On cherche à trouver les indices des événements précédant à une collision.



Lycée E. Delacroix T^{ale} S

- Vous avez vu au TP3 que la lithosphère continentale, est le siège d'un épaissement, lors des orogénèses. Si une collision, est une convergence de deux lithosphères continentales, il y a dû avoir en amont une possible subduction. Or celle-ci est le plongement d'une lithosphère océanique dans l'asthénosphère (cf TP1-2) ; ce qui suppose dans un premier temps la création d'une lithosphère océanique...
- **On cherche à trouver les indices des événements précédant à une collision.**

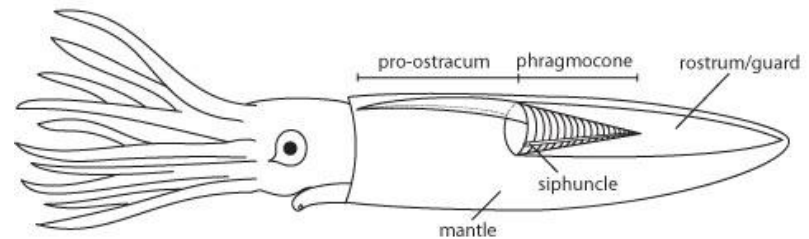
Activité 1 : des marqueurs paléontologiques d'un ancien océan dans les Alpes

Ammonites du Jurassique (-180 Ma) aux environs de Digne



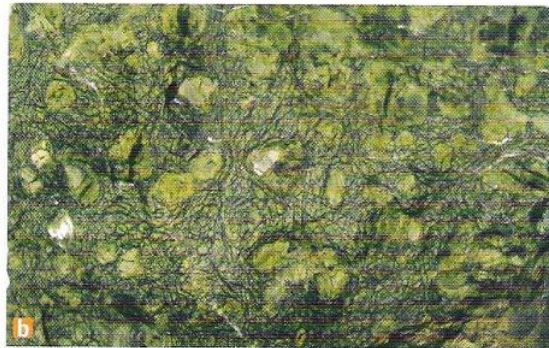
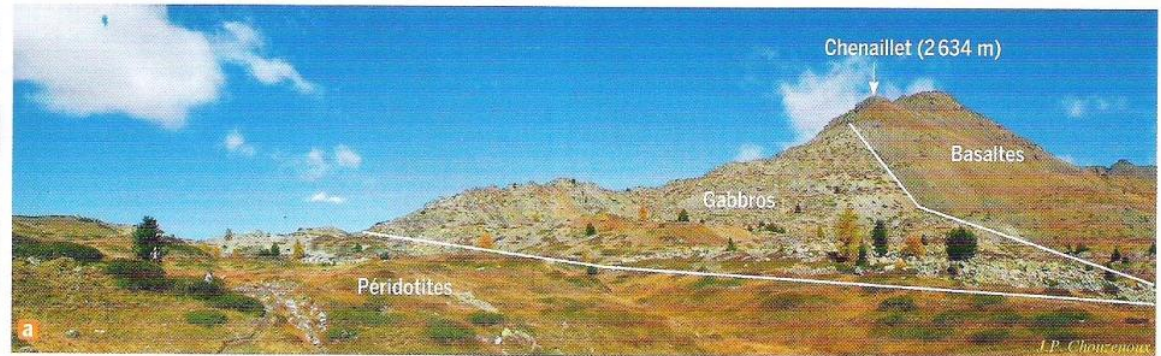
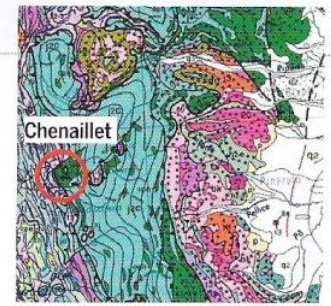
Nautilus actuel (îles pacifiques 400m de profondeur): principe d'actualisme avec les Ammonites => au Jurassique Océan profond

Rostres de Bélemnites du Crétacé (-135 -65Ma)

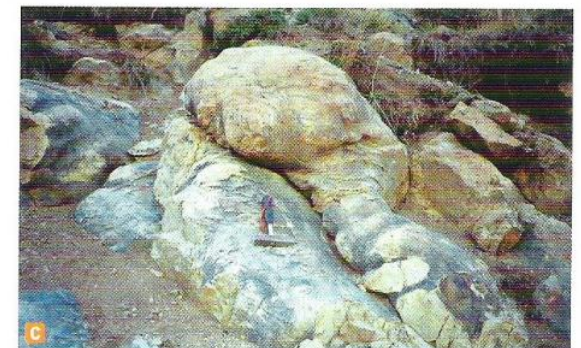


Lateral view of the internal shell of a generalized belemnite. ©Liz Shea, DMNH.

Près de Briançon, le massif du Chenaillet s'étend sur une surface d'environ 40 km². Dans le paysage (*photographie ci-dessous*), trois types de roches se superposent : des **péridotites**, des **gabbros** et des **basaltes**. Leur âge est de 160 Ma. Comme en témoigne la *carte ci-contre*, de telles associations rocheuses (figurées en vert) ne sont pas rares dans les Alpes occidentales et sont toutes situées au niveau de la zone interne des Alpes à la frontière des deux plaques tectoniques, européenne et africaine, qui sont entrées en collision. Cet assemblage de roches sombres aux reflets verdâtres est qualifié de « **complexe ophiolitique** » (du grec *ophis*, serpent).



• Les **péridotites** (*photographie b*) de la base de la série, très sombres, présentent des reflets verts parmi lesquels brillent de petits cristaux de pyroxènes. La surface d'échantillons de ces roches présente un aspect particulier qui évoque la peau de serpent : cette particularité est à l'origine de leur nom de **serpentinites**. Les pyroxènes et les olivines de la péridotite originelle, soumis à une intense altération hydrothermale, ont subi de profondes transformations : ils sont maintenant entourés par un minéral hydraté et vert sombre : la serpentine.



• Les basaltes du Chenaillet (*photographie c*) ont l'aspect de coussins (pillow-lavas) ou de traversins d'un diamètre qui varie de 50 cm à un mètre. Ces pillow-lavas sont empilés sur 300 à 400 mètres d'épaisseur.

• Les gabbros sont peu déformés et d'une épaisseur variant de 150 à 200 mètres. Certains gabbros présentent des signes d'un **métamorphisme hydrothermal** : des auréoles d'amphiboles ou de chlorite sont visibles autour des pyroxènes. Ce sont des métagabbros de type schistes verts.

Activité 1 : des marqueurs d'un ancien océan dans les Alpes

Les traces d'une ancienne phase d'océanisation: les marqueurs géologiques



serpentinites

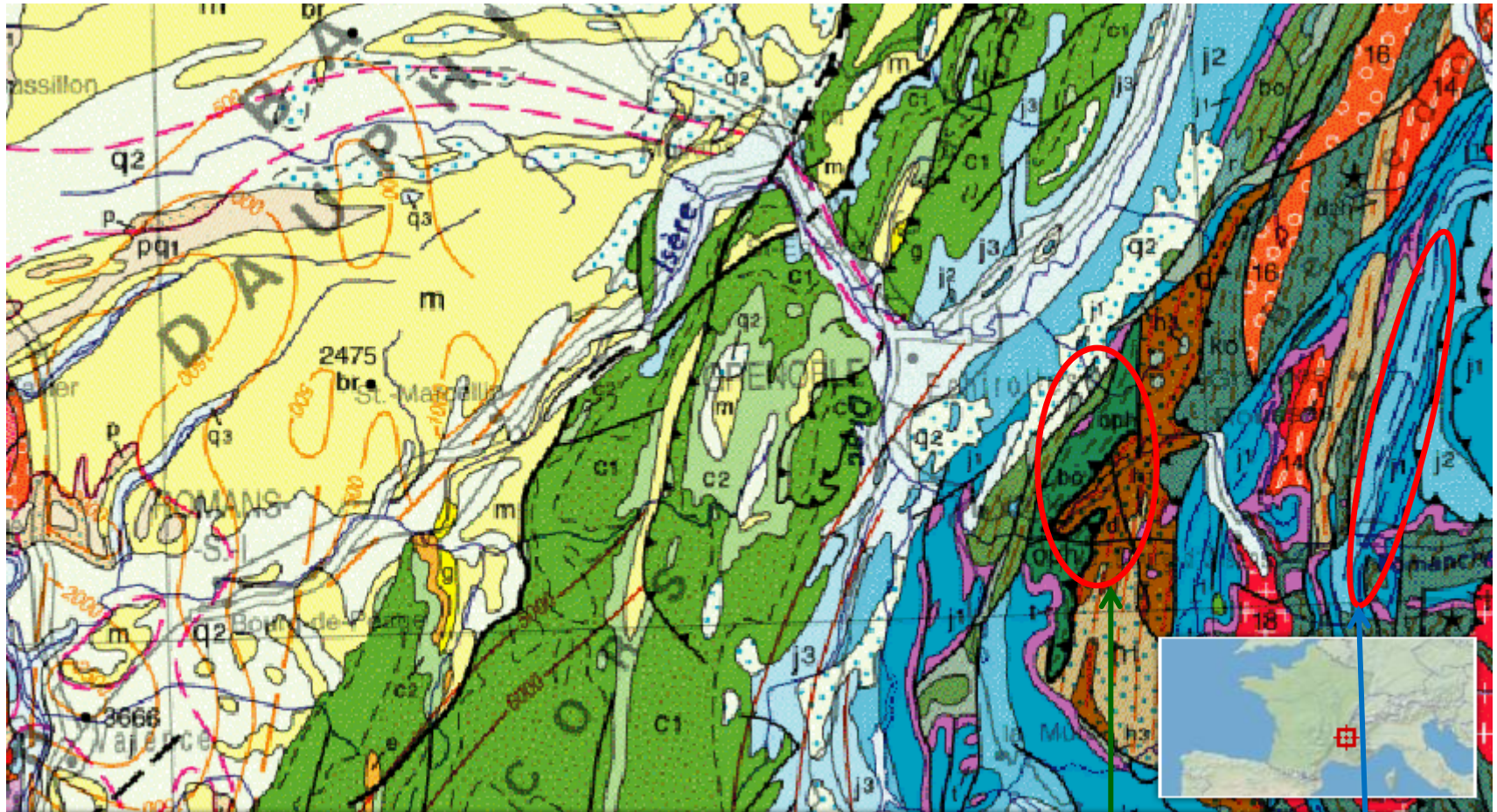
gabbros

Basaltes en coussin
(pillow-lavas)

Les ophiolites du Chenaillet

Activité 1 : des marqueurs d'un ancien océan dans les Alpes

Exploitation de la carte géologique de la France au 1/1 000 000^e



RS : Lambert 93

X : 1058875.46 Y : 6518370.00

Echelle : 1 / 1 000 000

Ophiolites

Métamorphisme faciès schistes verts

G1: Gabbro venant de cristalliser

T~ 600°C et profondeur~ 5 à 10 km

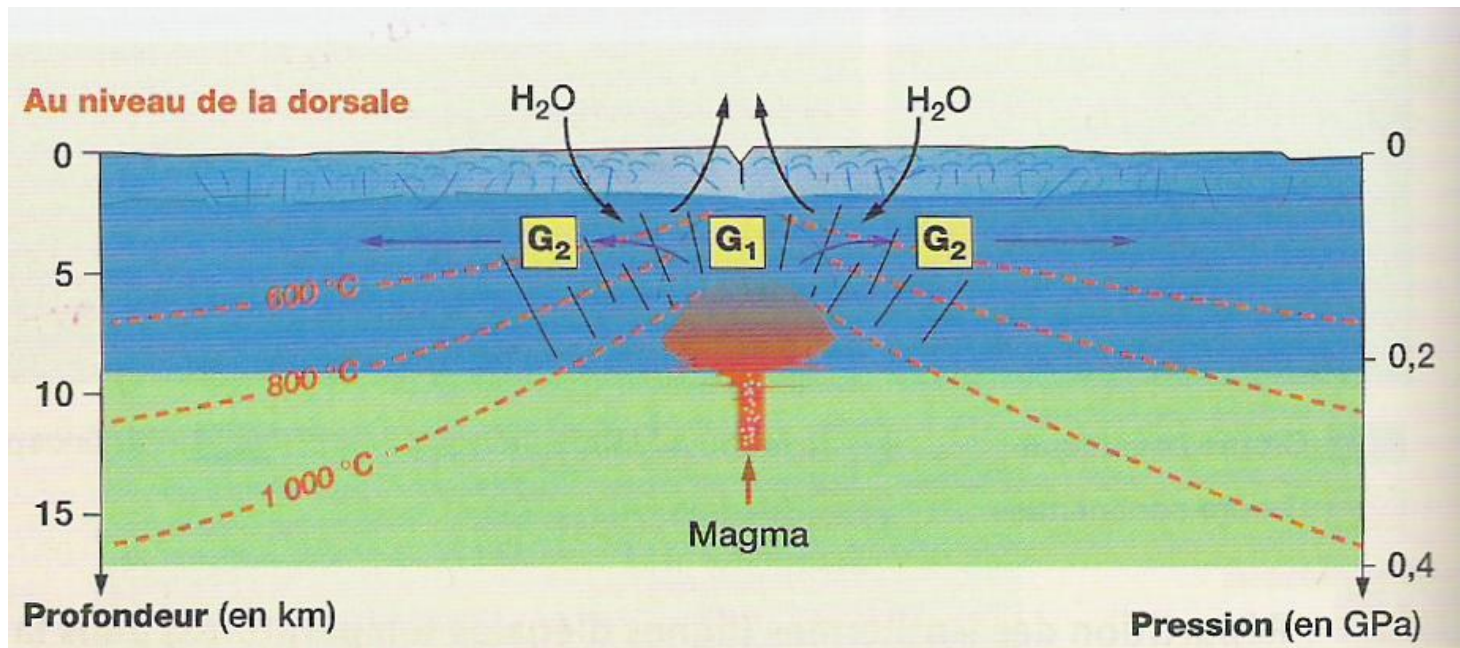
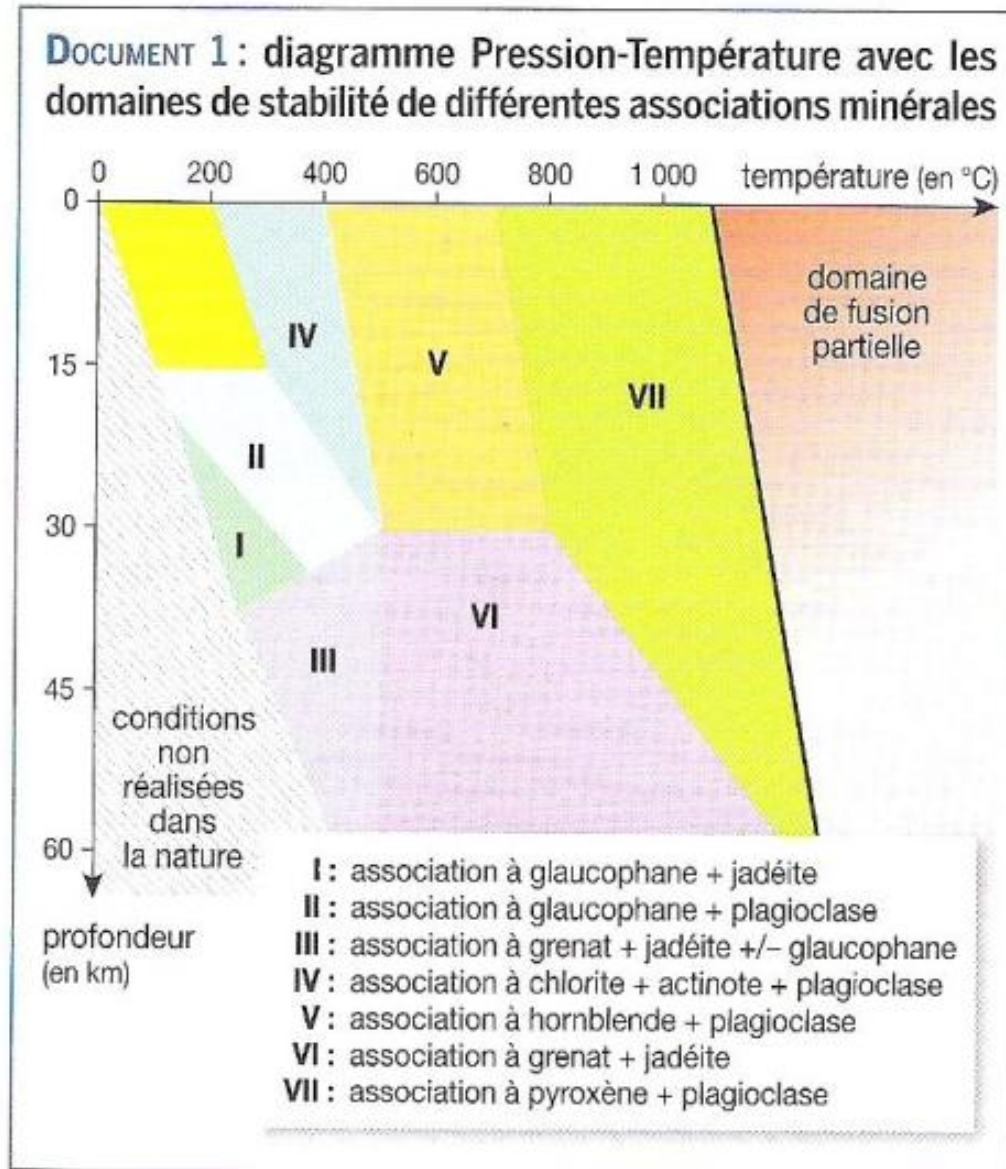


Diagramme PT avec noms des minéraux stables pour différents domaines



Gabbro non transformé de la croûte océanique



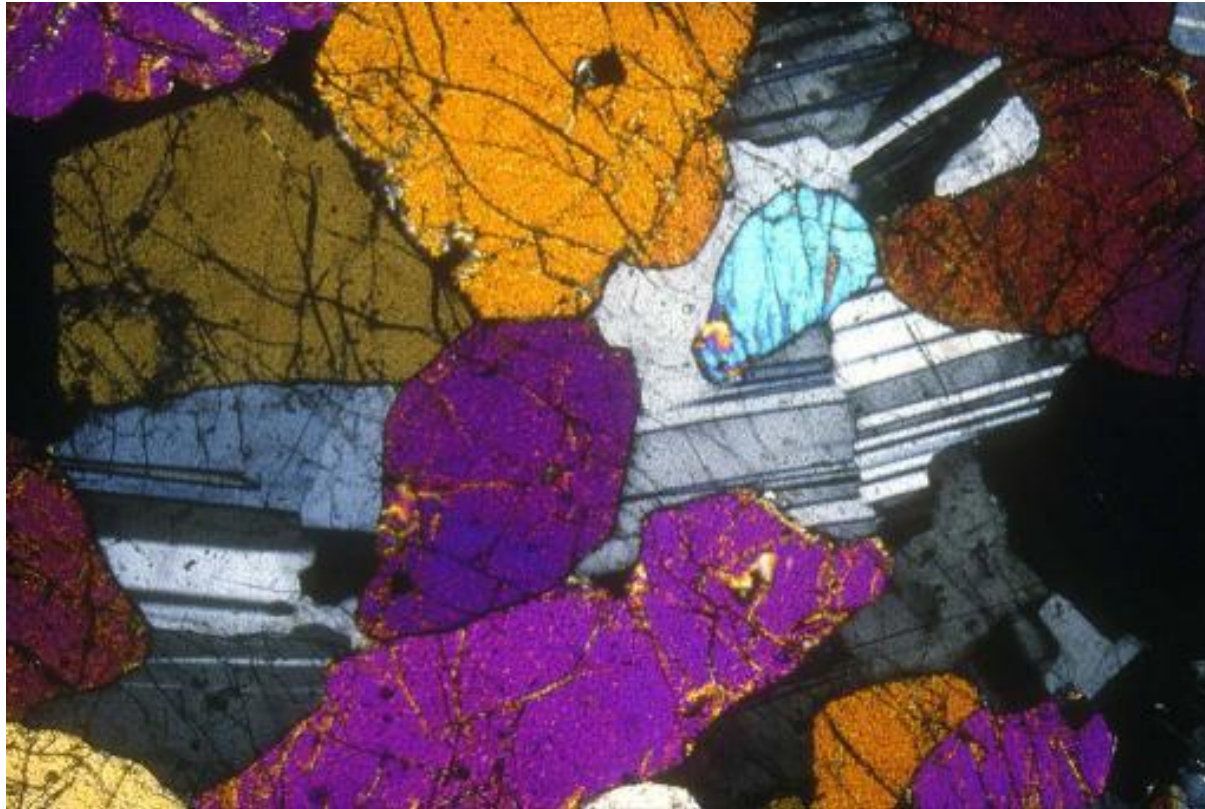
Texture grenue, entièrement cristallisée présentant deux types de minéraux: - le pyroxène, sombre

- le plagioclase blanc de forme rectangulaire

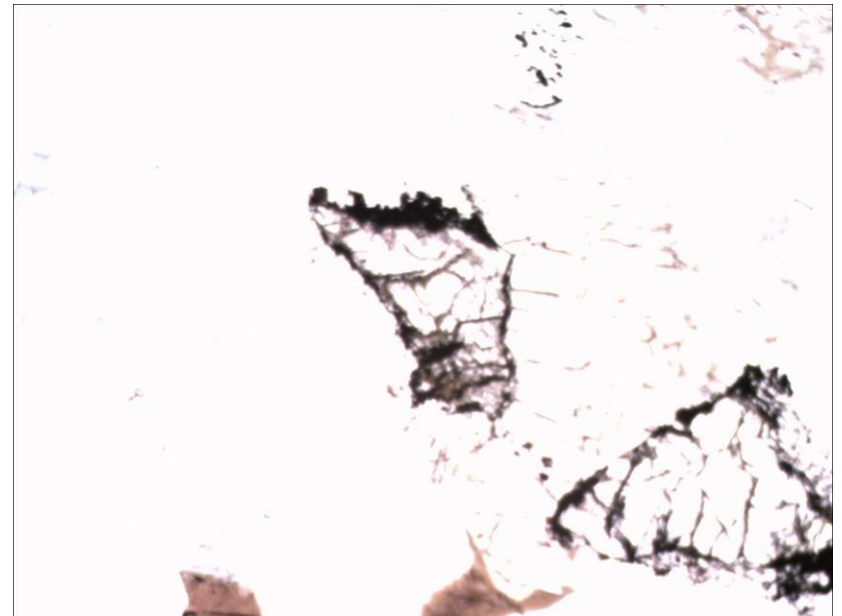
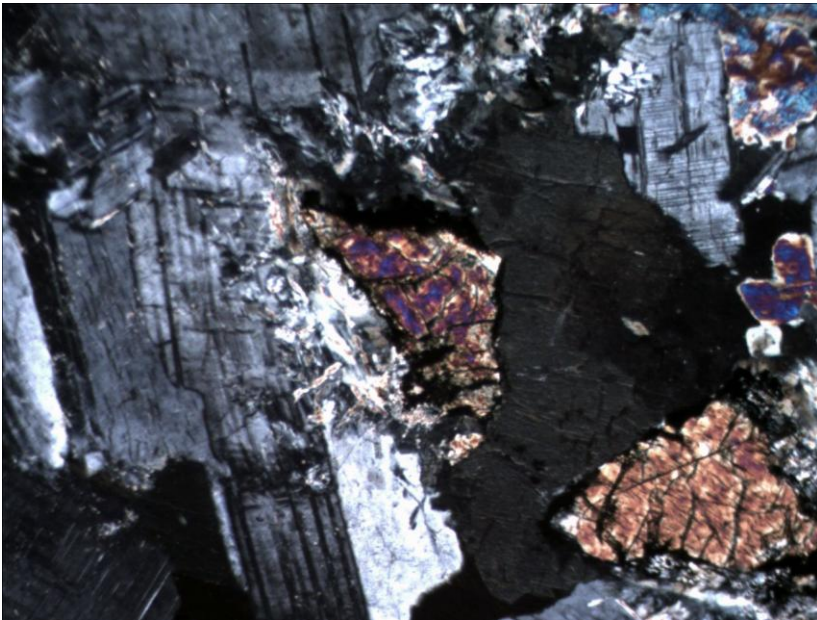
La roche est entièrement cristallisée et ne présente aucune déformation = roche magmatique plutonique.

=> GABBRO

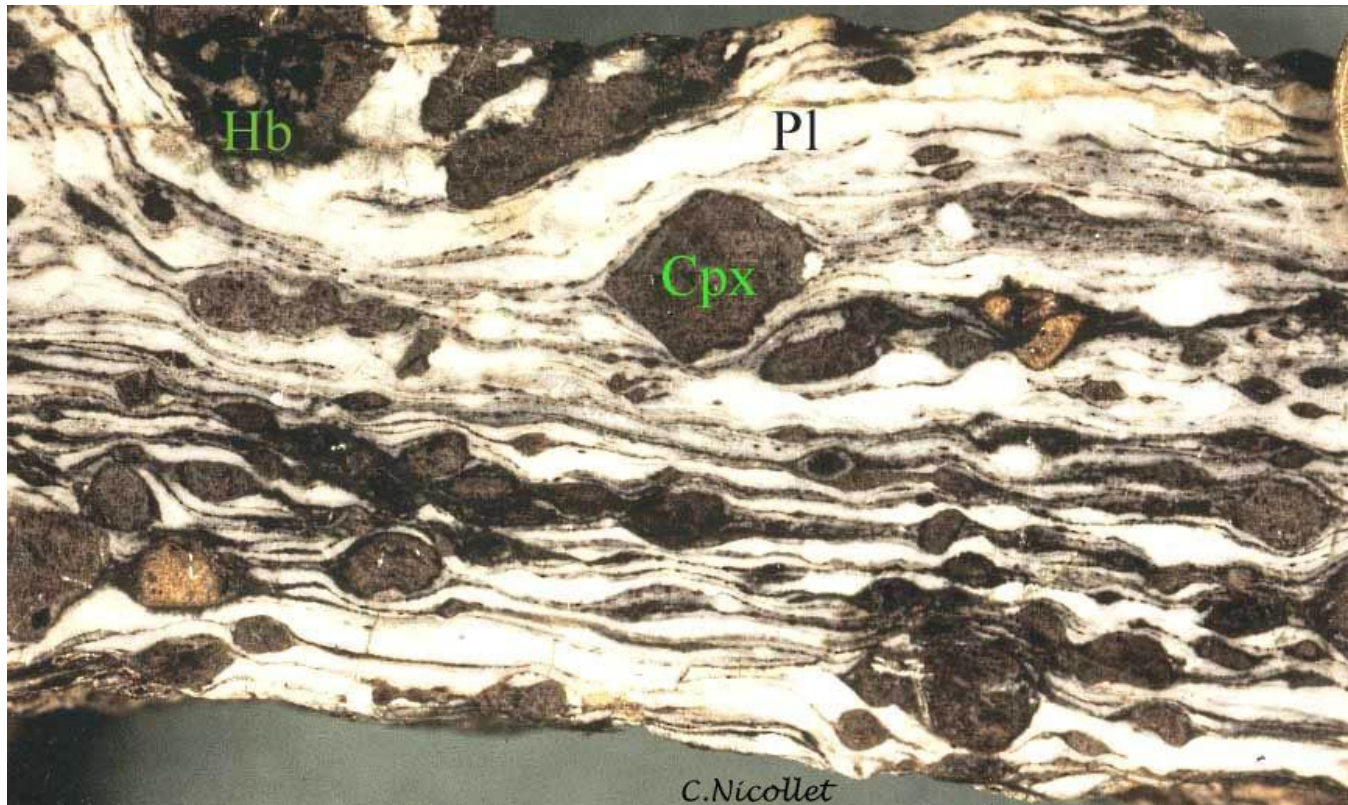
Lame mince de gabbro



Lame mince de gabbro au MO x40 (LPA et LPNA)



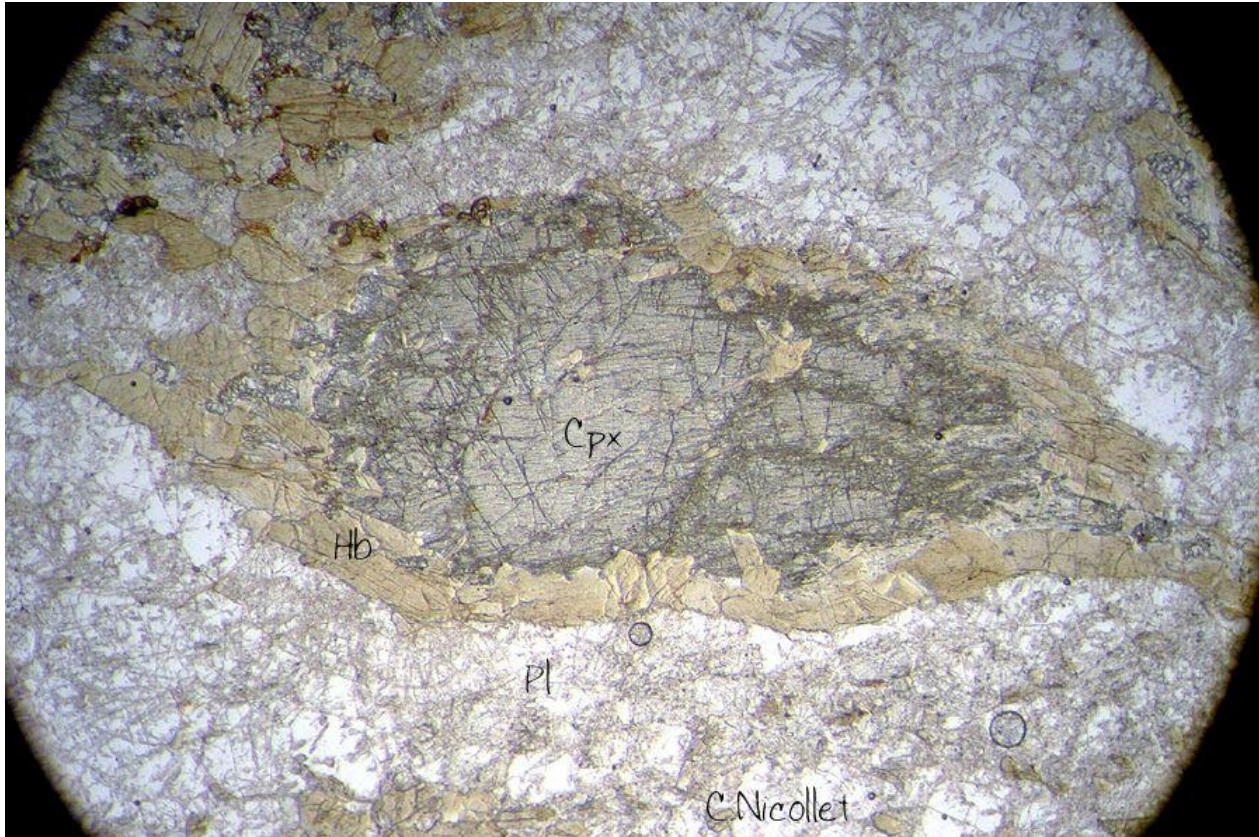
Un Métagabbro G2 dans la Croûte Océanique



Roche entièrement cristallisée, à texture grenue présentant deux types de minéraux: pyroxène et plagioclase => gabbro

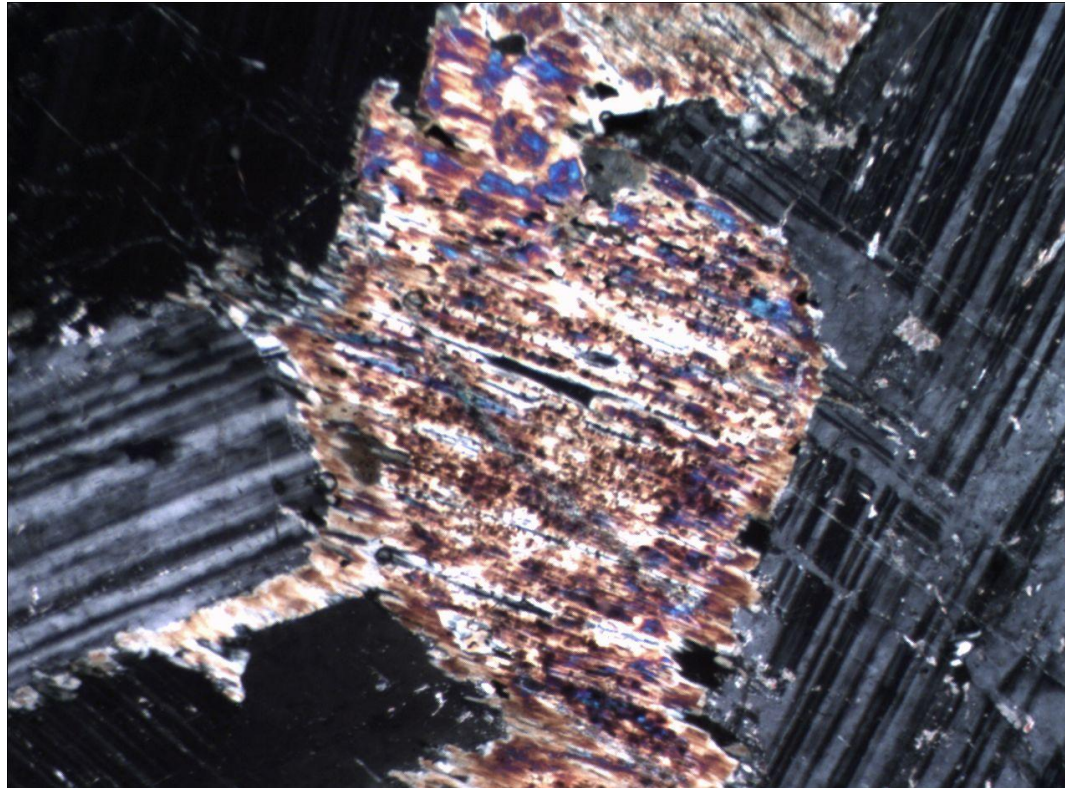
MAIS présence de déformations de type foliation, et d'auréole d'un nouveau minéral, la Hornblende (appartient à la famille des amphiboles) autour du pyroxène en relique => métagabbro

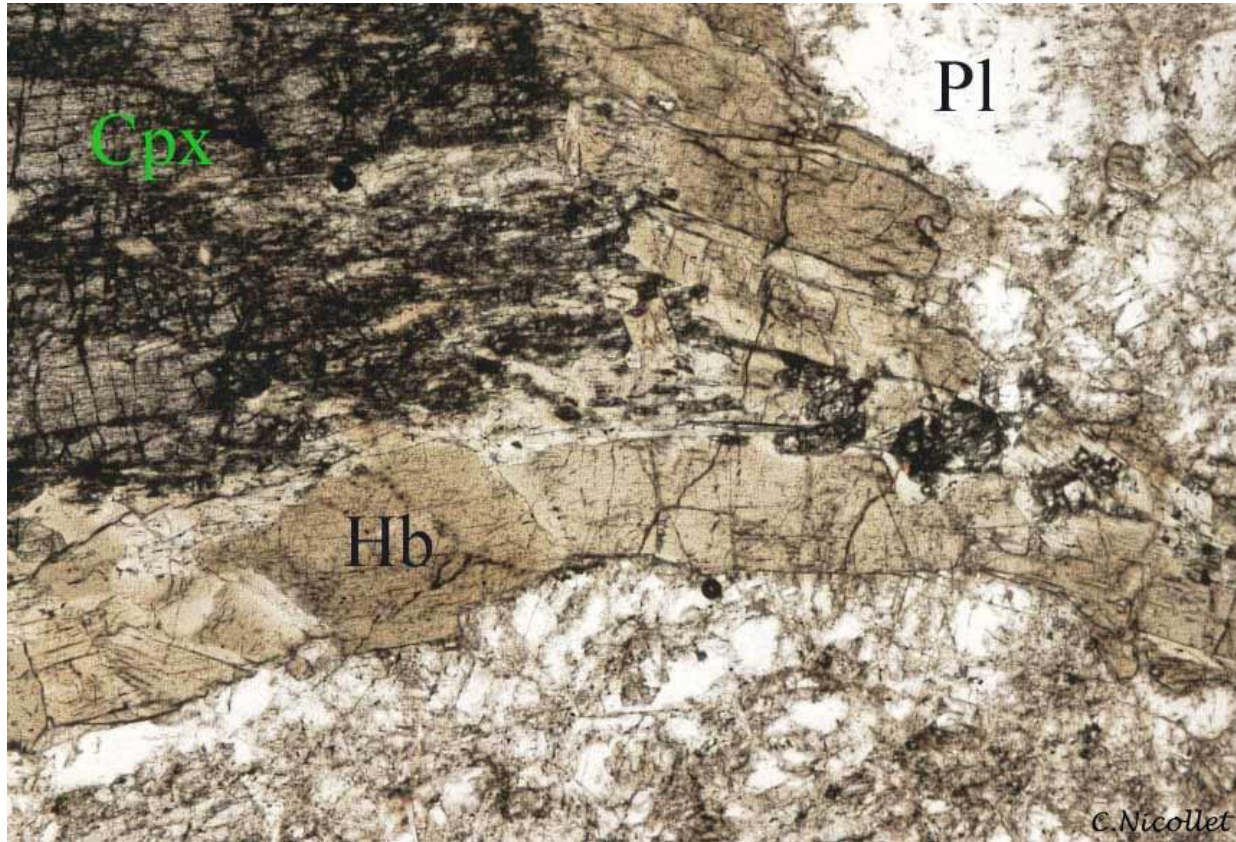
Lame mince d'un métagabbro à hornblende



La hornblende est une amphibole (= minéral hydraté) brune au microscope ; elle entoure complètement le pyroxène et l'isole du plagioclase.

Lame mince d'un métagabbro à hornblende au MO x40 LPA



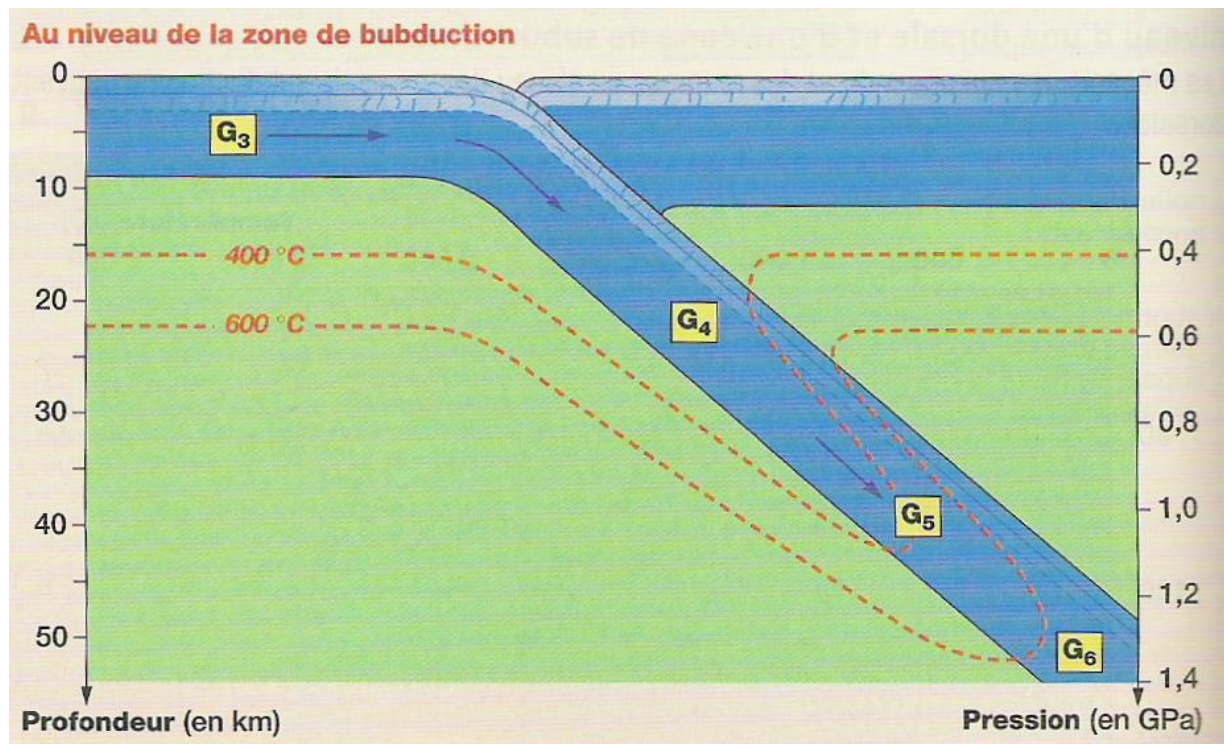


(microphotographies en LN)



=> De l'eau (H₂O) est nécessaire, car l'amphibole est un **minéral hydraté**.

G3 $T^{\circ}\text{C} < 400^{\circ}\text{C}$ et profondeur ~ 5 à 10 km

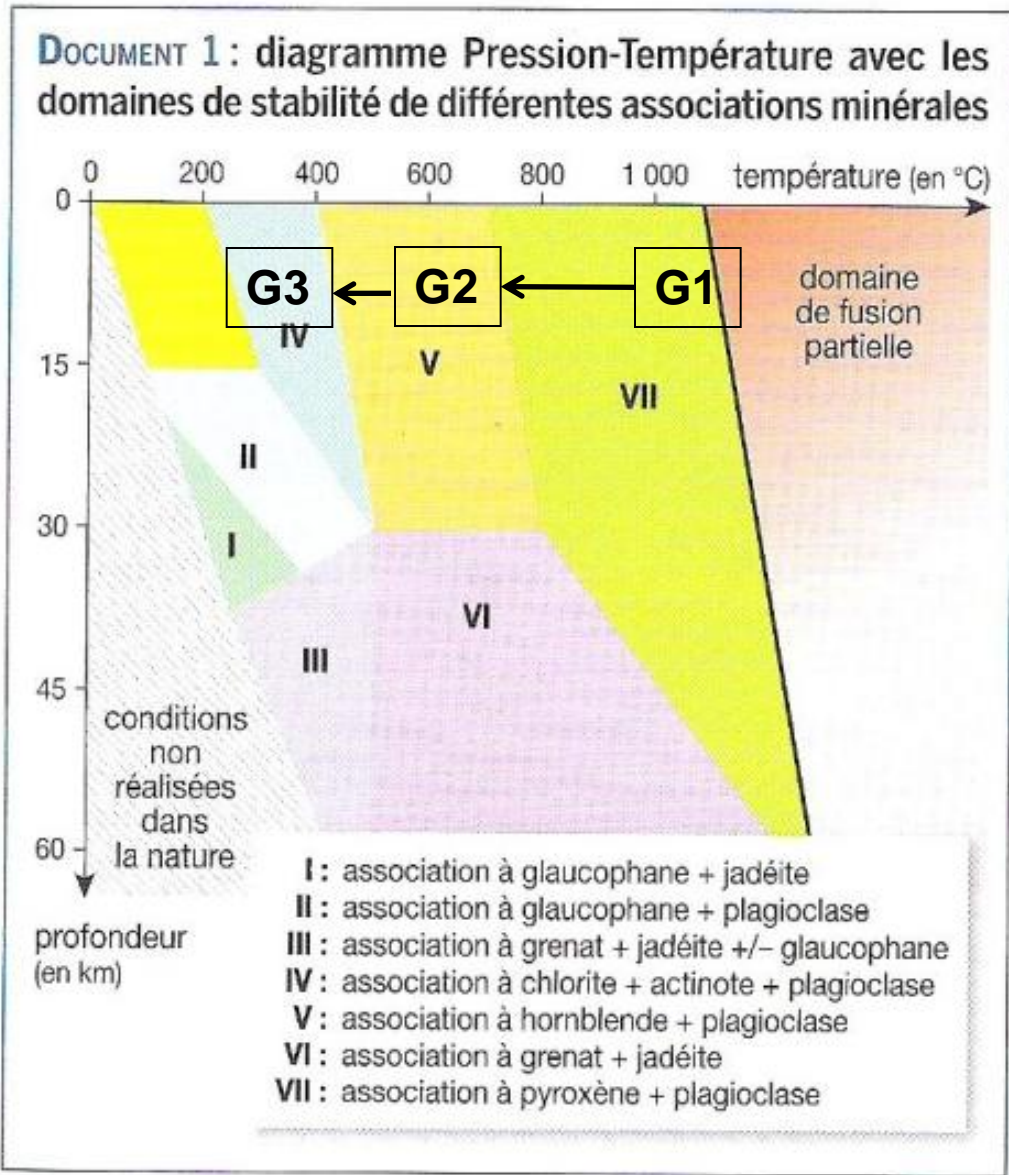


Un Métagabbro dans le faciès Schistes Verts



Les pyroxènes magmatiques bruns du métagabbro sont remplacés par une amphibole vert pâle, l'actinote.

Localisation du trajet PT du gabbro G1 et des métagabbros G2 et G3



Trajet au cours du temps suite à l'éloignement de la dorsale

Les marqueurs
pétrographiques
d'un ancien
océan

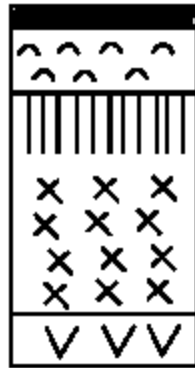
Rappels de 1S: Le phénomène d'accrétion océanique

sédiments
basaltes en
coussins

complexe
filonien

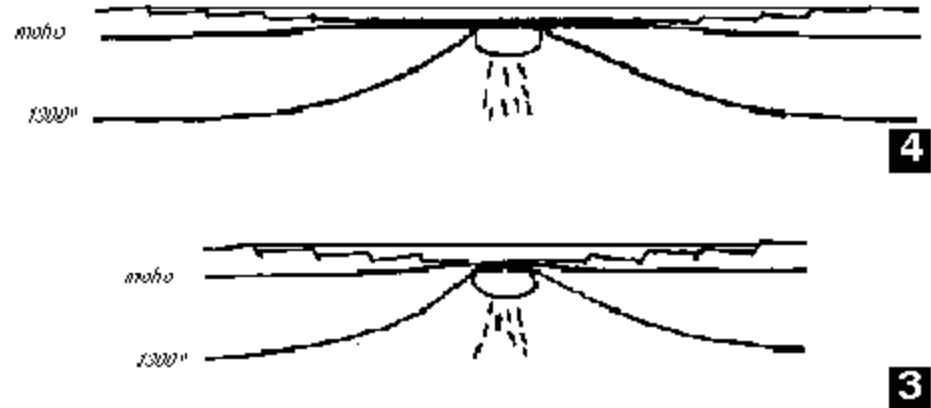
gabbros

moho
péridotites
appauvries



C.O.
6-8 km

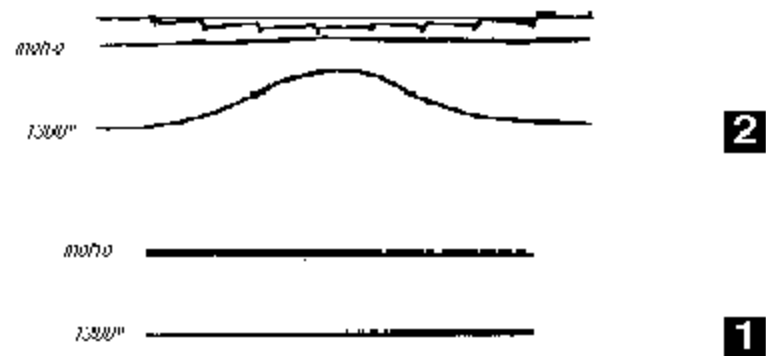
m.s.



4 : Expansion océanique.

3 : Fusion partielle importante du manteau supérieur, chambre magmatique de grande taille, permanente, création d'une croûte océanique épaisse (co).

1 - 2 : Distension symétrique, amincissement de la lithosphère continentale. Remontée de l'isotherme 1300 .



Traces écrites

- Ainsi dans l'actuelle chaîne de montagnes de collision que constituent les Alpes, on trouve des marqueurs d'un ancien océan.
- Des **marqueurs paléontologiques**, avec des fossiles d'Ammonites et de Bélemnites, datés du Jurassique et du Crétacé; preuve de la présence d'un océan dans les Alpes actuelles à cette époque.
- Des **marqueurs magmatiques**: la présence d'**ophiolites** (dans le Chenaillet), qui est une lithosphère océanique reposant sur une lithosphère continentale. Cette ophiolite, est composée, du bas vers le haut, de **péridotites** (roche mantellique), de **gabbros**, de **filons de basaltes et de basaltes en coussins**. Cette forme en coussins indique un refroidissement dans l'eau donc un ancien océan. De plus les roches de cette ancienne lithosphère océanique présentent des minéraux en **auréole**, tels que la **hornblende** ou **l'actinote et la chlorite ou encore de la serpentine dans la péridotite**. Cette disposition en auréole révèle la nature métamorphique de ces minéraux néoformés. Les conditions de formation sont un refroidissement et une hydratation, on parle de métamorphisme hydrothermal BP-MT et H₂O). Ceci appuie l'argument d'une expansion océanique du milieu Jurassique au Crétacé (-165 -120 Ma).

Activité 2 : des marqueurs d'une ancienne marge passive dans les Alpes

Les traces d'une marge continentale passive

Un océan comme l'océan Atlantique est bordé de marges continentales passives. Ces marges présentent des structures géologiques bien particulières que l'on peut observer non seulement au niveau d'une bordure océanique comme la Bretagne mais aussi au cœur d'une chaîne de montagnes telle que les Alpes.

A Les structures géologiques d'une marge passive actuelle

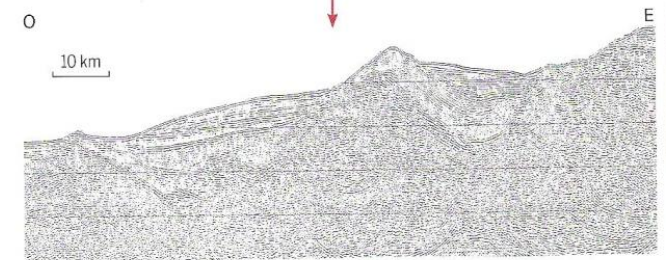
• Les unités morphologiques de la marge armoricaine

Du continent vers le large, trois unités morphologiques composent la marge :

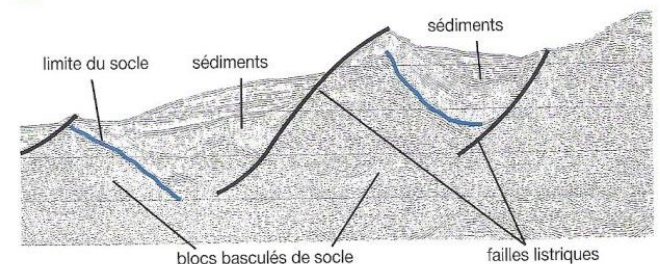
- le plateau continental, large de 70 km en moyenne, peu profond (0 à 200 m) et à pente très faible ;
- le talus continental, compris entre -200 et -3 000 m, dont la pente moyenne est de 7 % et qui est entaillé par des vallées et des canyons sous-marins ;
- le glacis continental, au pied du talus, où s'accumulent en eaux profondes les sédiments transportés depuis le continent (le glacis se raccorde à la **plaine abyssale** vers 3 500 m de profondeur).

• La structure de la marge armoricaine

Le **profil sismique** de la marge armoricaine à l'entrée de la Manche (*ci-contre*) révèle l'existence de failles qui recoupent le socle ainsi que certaines couches sédimentaires. Ce sont des **failles normales**, caractéristiques d'une tectonique en distension. Certaines, qualifiées de **failles listriques** ont un **pendage** qui diminue avec la profondeur. Les géologues appellent bloc basculé le bloc de croûte continentale situé entre deux failles listriques car la géométrie courbe de la faille provoque le basculement du bloc à mesure qu'il s'enfonce. Du fait de ce basculement, les sédiments qui vont combler le bassin sont beaucoup plus épais d'un côté que de l'autre : on dit que c'est une sédimentation en éventail. L'ensemble de ces caractéristiques définit une marge continentale passive. Ces marges ont enregistré l'ouverture précocée de l'océan avec la déchirure continentale et bordent aujourd'hui l'océan Atlantique. Elles sont dites passives car l'activité géologique y est très faible.



a Profil brut

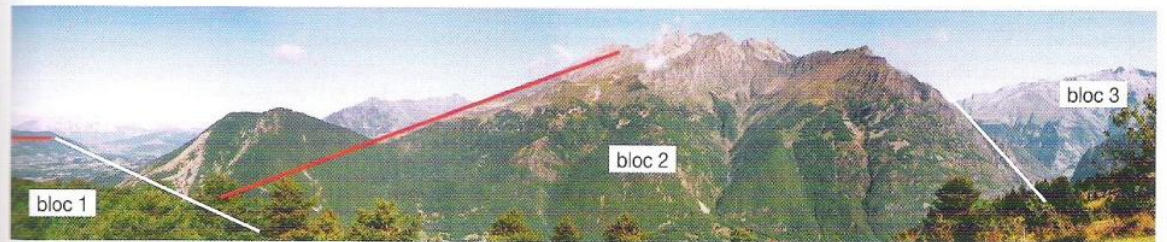
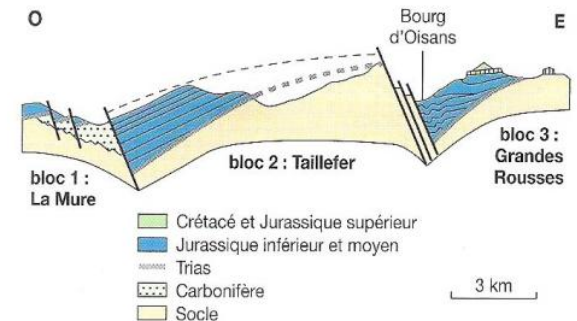
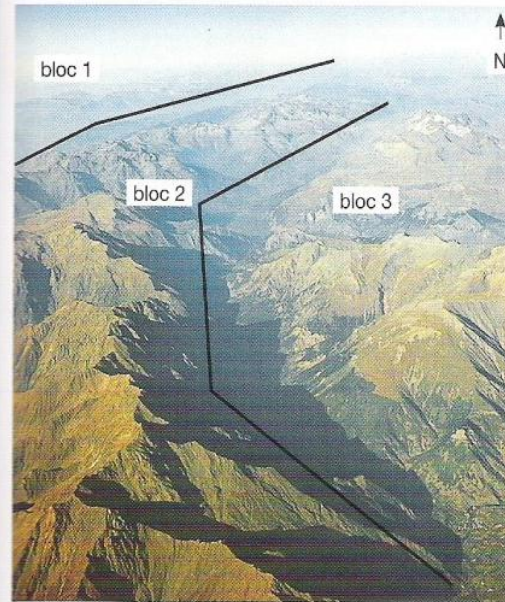
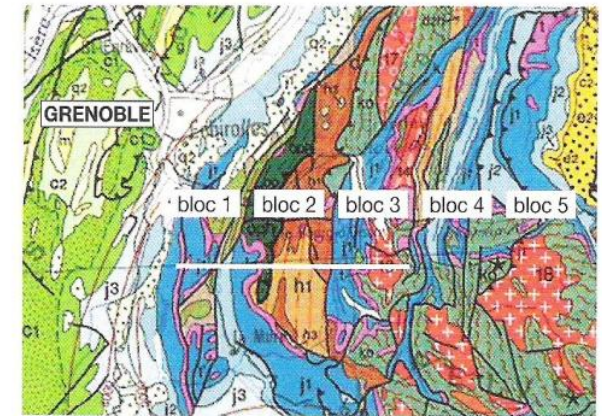


b Profil interprété

B Une succession de blocs basculés dans les Alpes

Activité 2 : des marqueurs d'une ancienne marge passive dans les Alpes

Dans toute la partie située à l'ouest de l'arc alpin, il est possible de repérer un ensemble de failles normales qui séparent des blocs de croûte continentale qui ont plus ou moins basculé les uns par rapport aux autres du fait de l'inclinaison des plans de faille. Les documents ci-après illustrent la présence de ces blocs dans la région de l'Oisans à proximité de Grenoble.

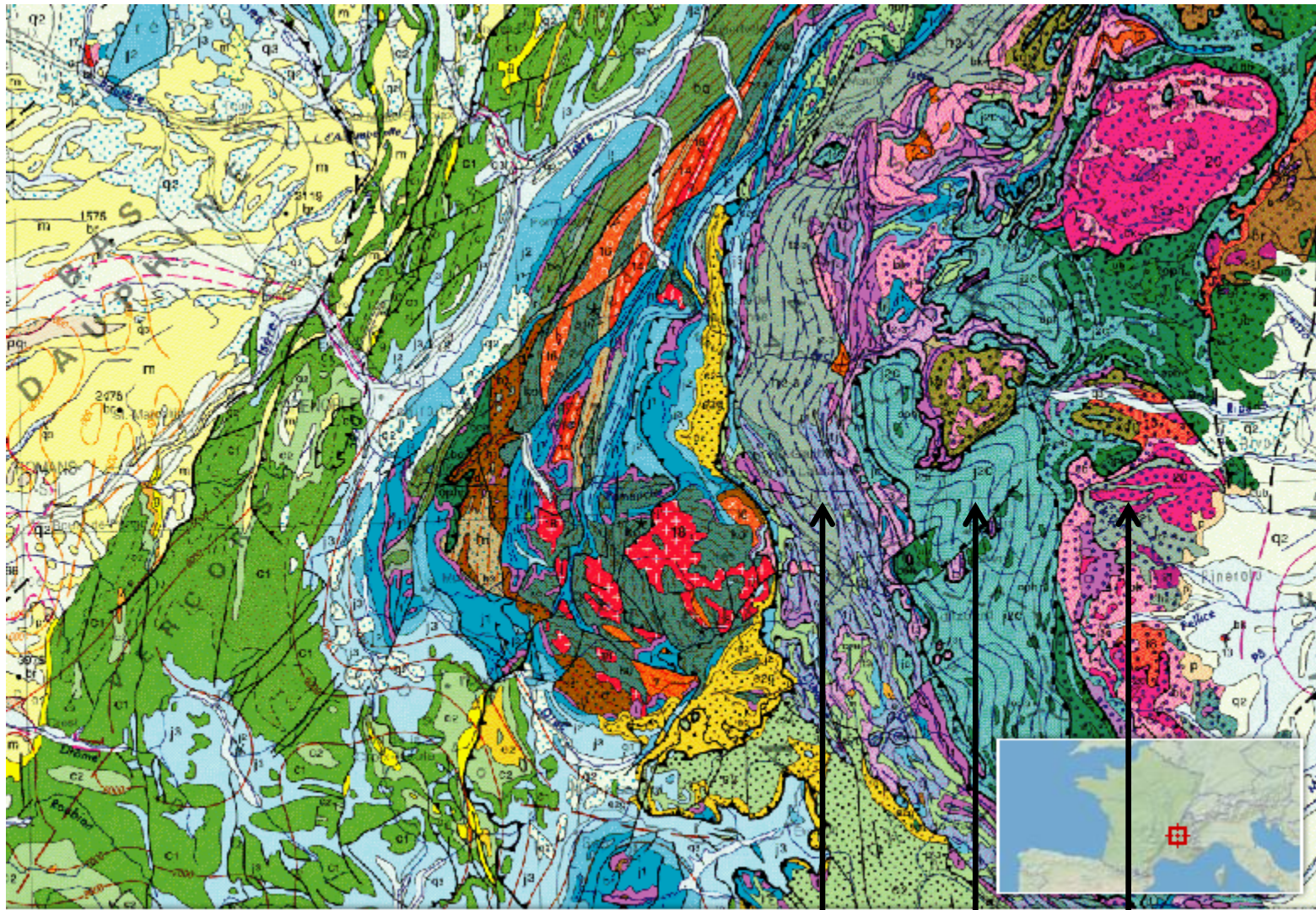


✍ Traces écrites

- Certaines régions des Alpes (ex: La Mure, Taillefer, Bourg d'Oisans) révèlent des **déformations tectoniques** de type failles normales, le long desquelles des blocs de croûte continentale ont basculé. Ces **blocs basculés** sont remplis de sédiments (dits en éventail) datés du Jurassique inférieur et moyen. Or un faille normale ne s'observe que dans un contexte de **divergence**...
- Cette succession de blocs basculés, est actuellement observable au niveau de la **marge passive** armoricaine. Ces blocs sont les vestiges d'un ancien **rifting intracontinental** précédant l'océanisation au sens strict.
- Ainsi entre -200 et -165 Ma un rifting intracontinental a précédé l'océan alpin.

Activité 3 : des marqueurs d'une ancienne subduction dans les Alpes

- Des données pétrographiques (roches métamorphiques)
- Des données sismiques



13

X : 934721.07 Y : 6416689.07

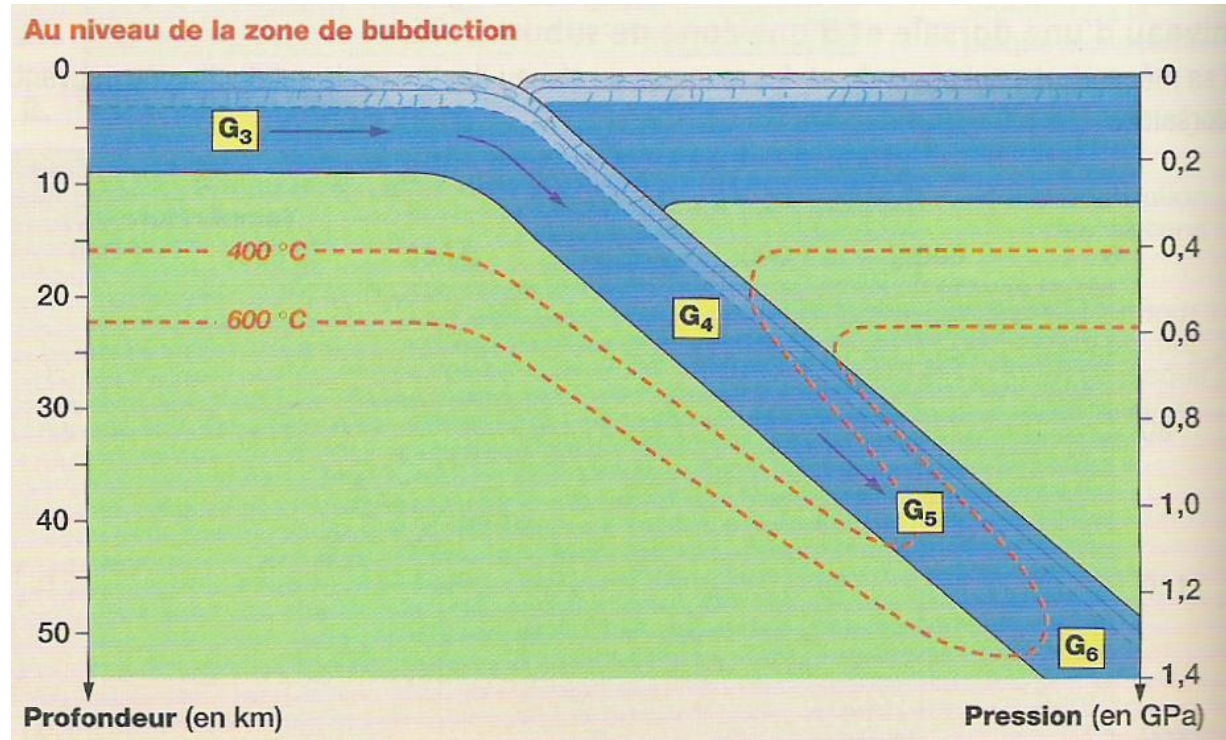
Echelle : 1 / 1 000 000

Faciès schistes verts

Faciès schistes bleus

Faciès éclogites

G4 $T^{\circ}\text{C} < 400^{\circ}\text{C}$ et profondeur ~ 20 km

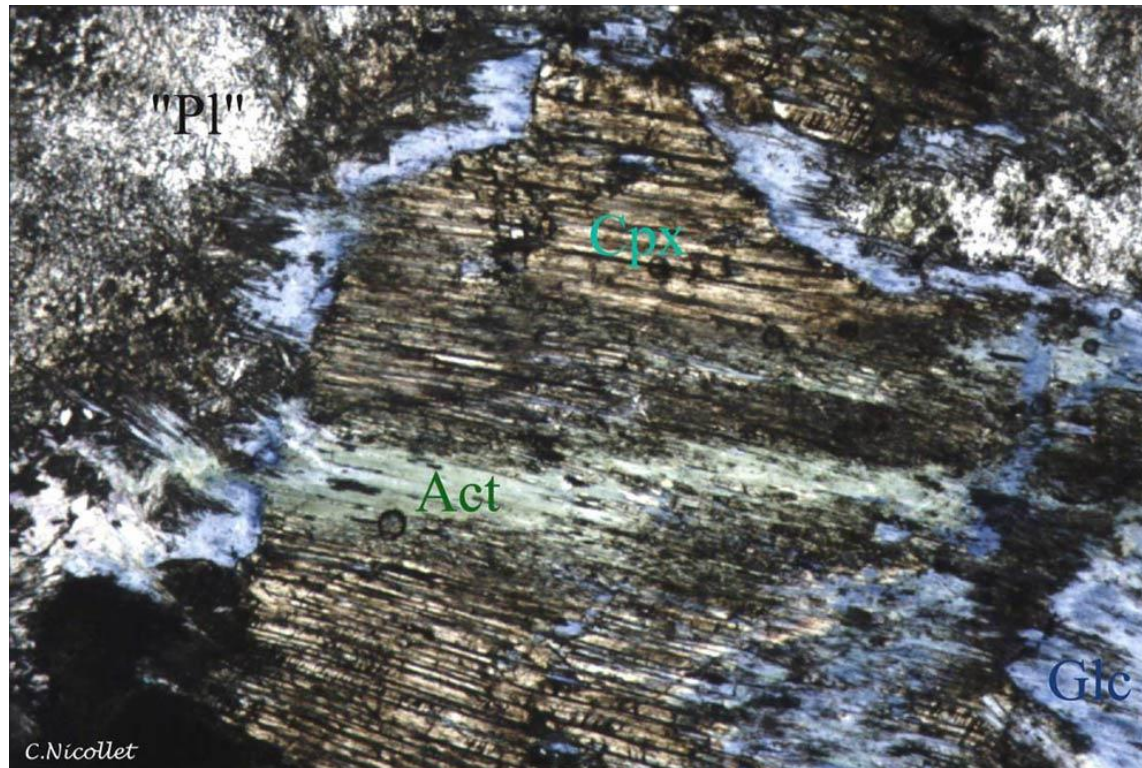


Lame mince d'un métagabbro du faciès des schistes bleus

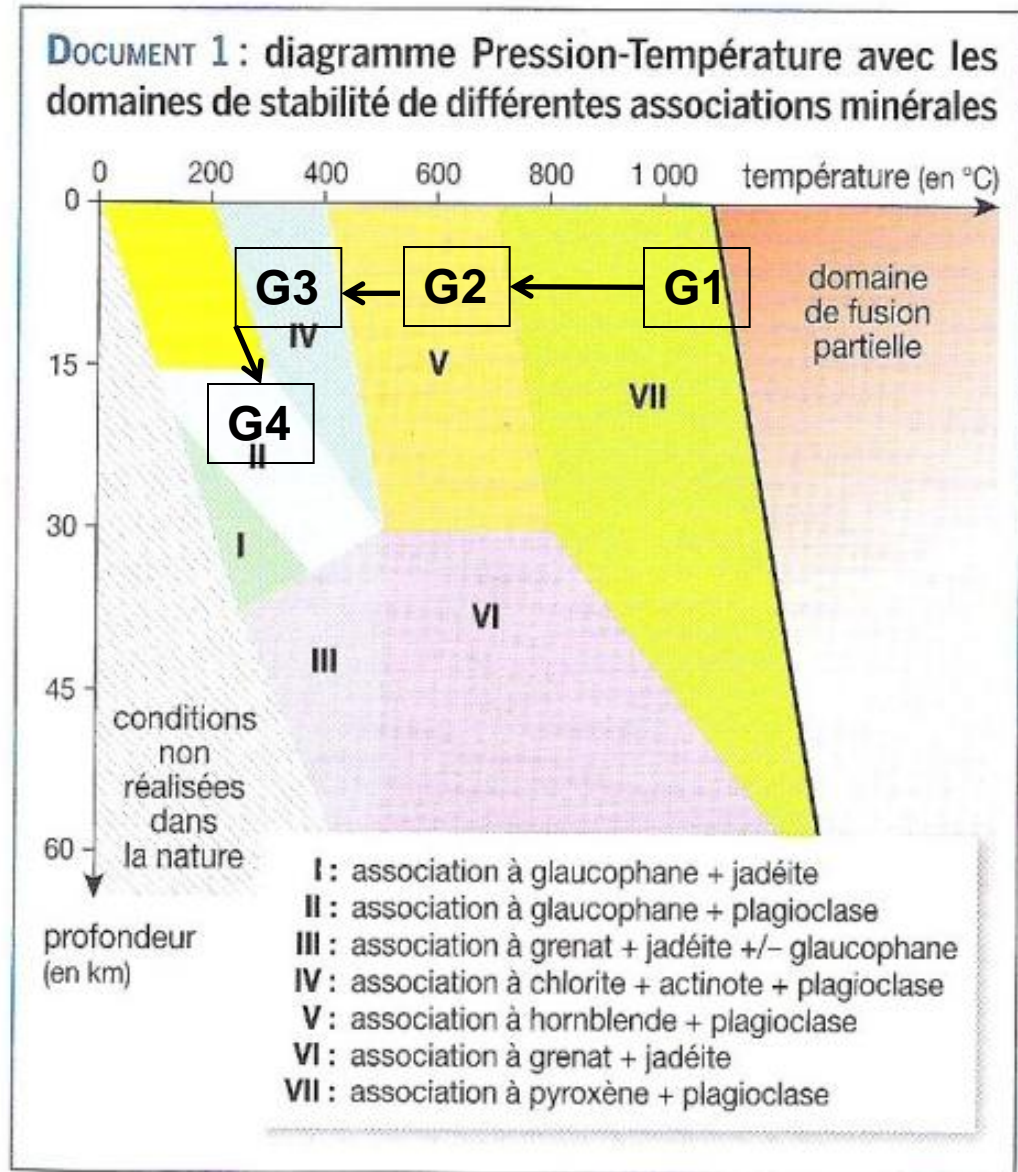
Le pyroxène magmatique (Cpx : brun) est parfois au cœur d'une couronne de Glaucophane (Glc : bleu marine), amphibole bleue, le séparant du Plagioclase, ou plutôt ce qu'il en reste !

Ces trois minéraux sont typiques du faciès Schistes Bleus

Par contre, l'Actinote (Act), une amphibole verte qui traverse le pyroxène magmatique et s'arrête à la couronne de Glaucophane, témoigne des conditions du faciès Schistes Verts. La position géométrique de cette Actinote suggère qu'elle s'est formée à partir du pyroxène magmatique, mais avant le Glaucophane.

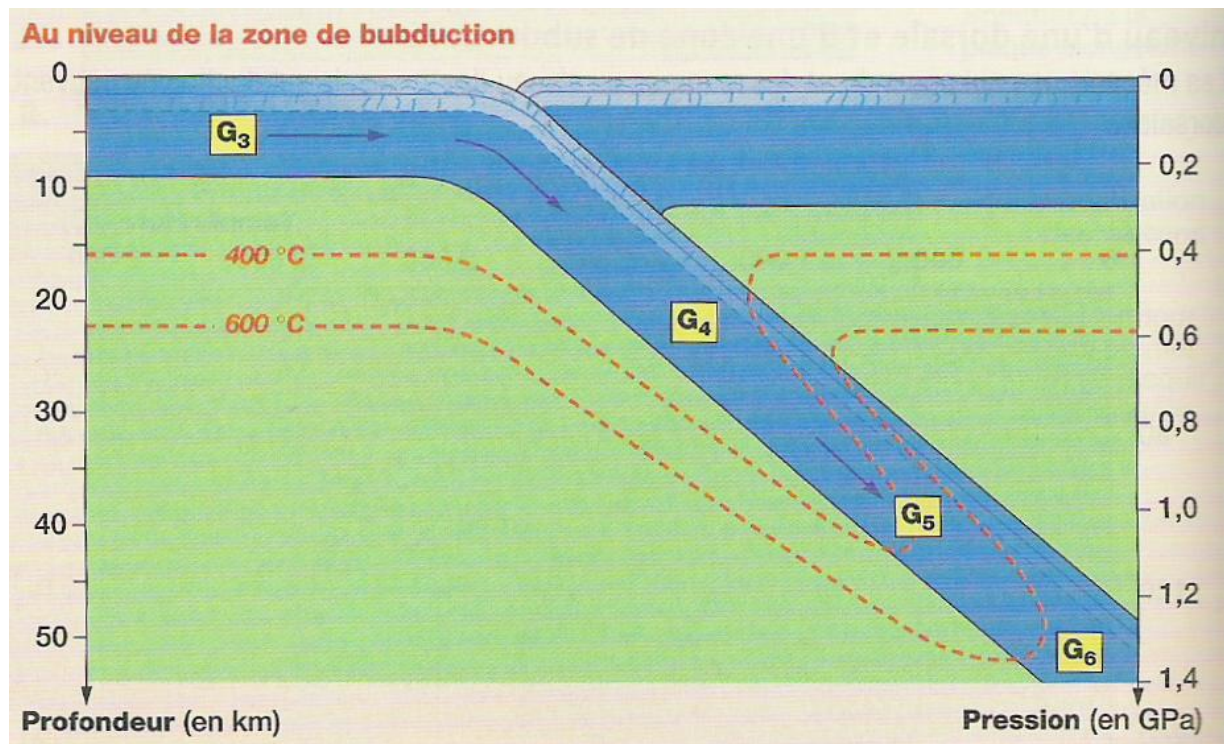


G4 appartient au faciès des schistes bleus



Trajet au cours du temps suite à l'éloignement de la dorsale

G5 $T^{\circ}\text{C} \sim 400^{\circ}\text{C}$ et profondeur ~ 40 km

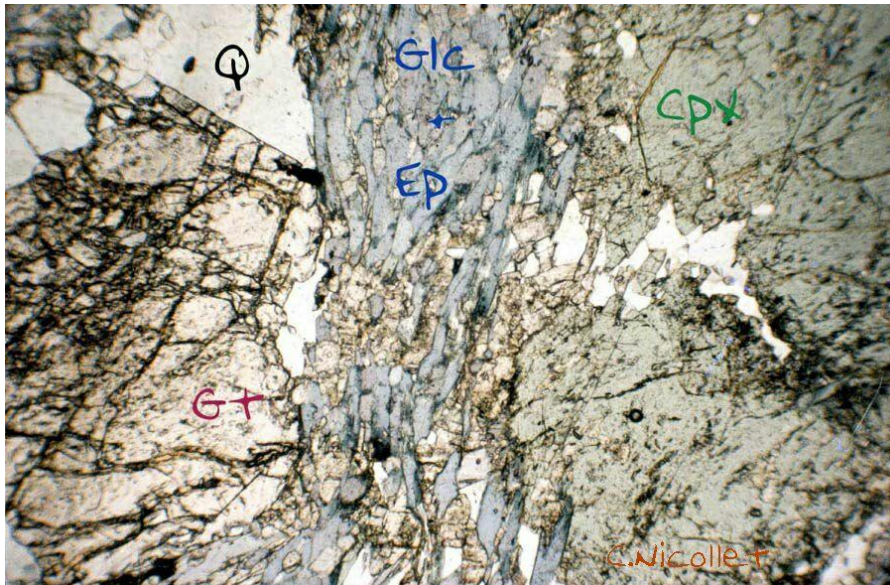


Vue macroscopique d'une éclogite à grenat (Île de Groix).

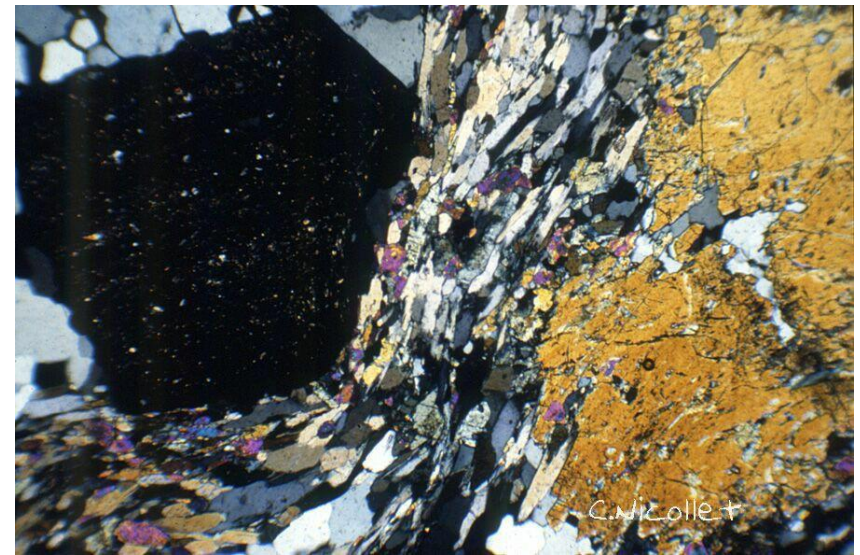


Le minéral bleu est la glaucophane (amphibole sodique bleue, $\text{Na}_2\text{Mg}_3\text{Al}_2[\text{Si}_8\text{O}_{22}](\text{OH})_2$). Les minéraux globuleux rouges sont des grenats.

Une Éclogite de Moyenne Température - Haute Pression

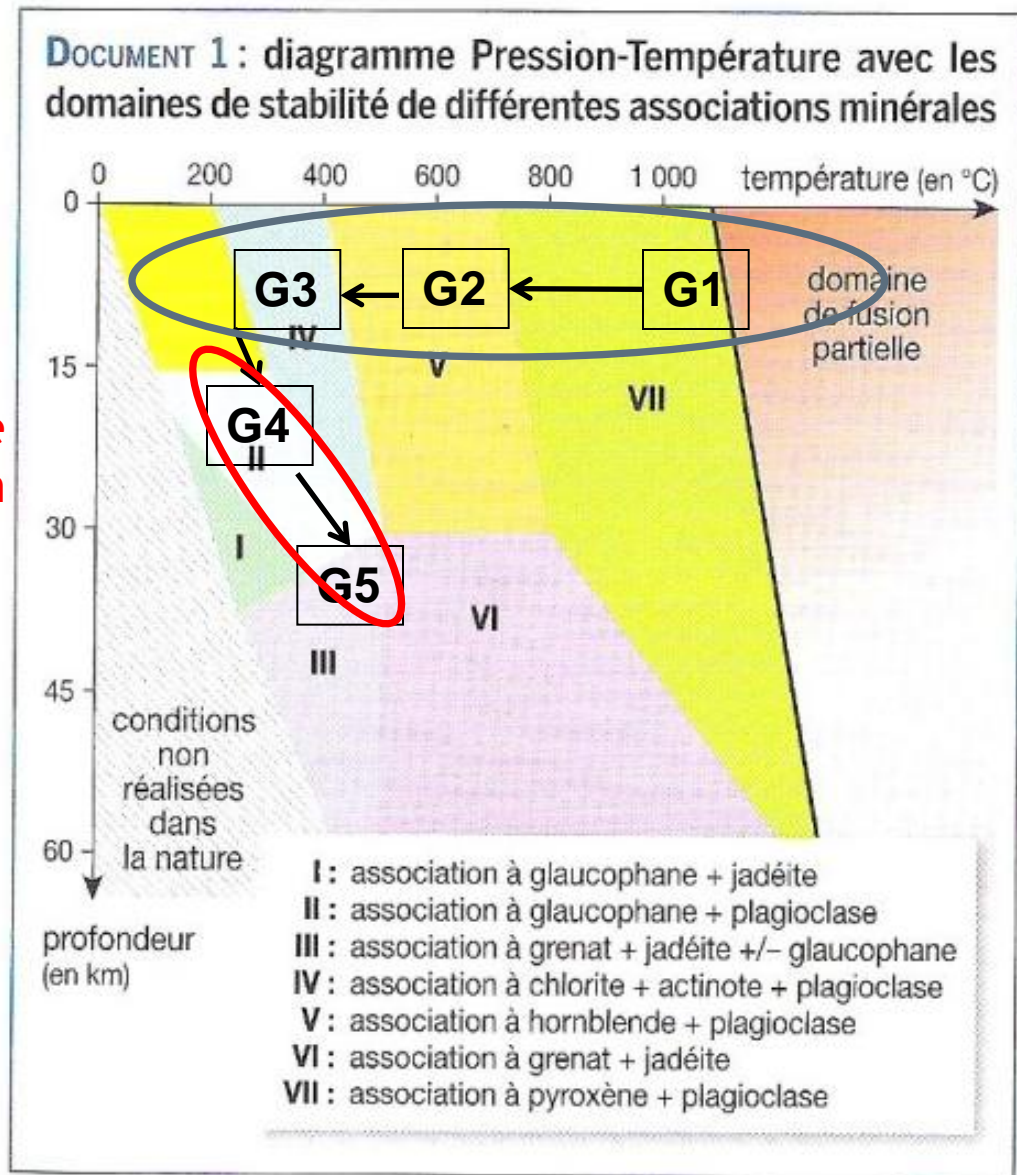


Lame mince au MO LPNA



Lame mince au MO LPA

G5 appartient au faciès des éclogites (Métamorphisme: HP-MT)



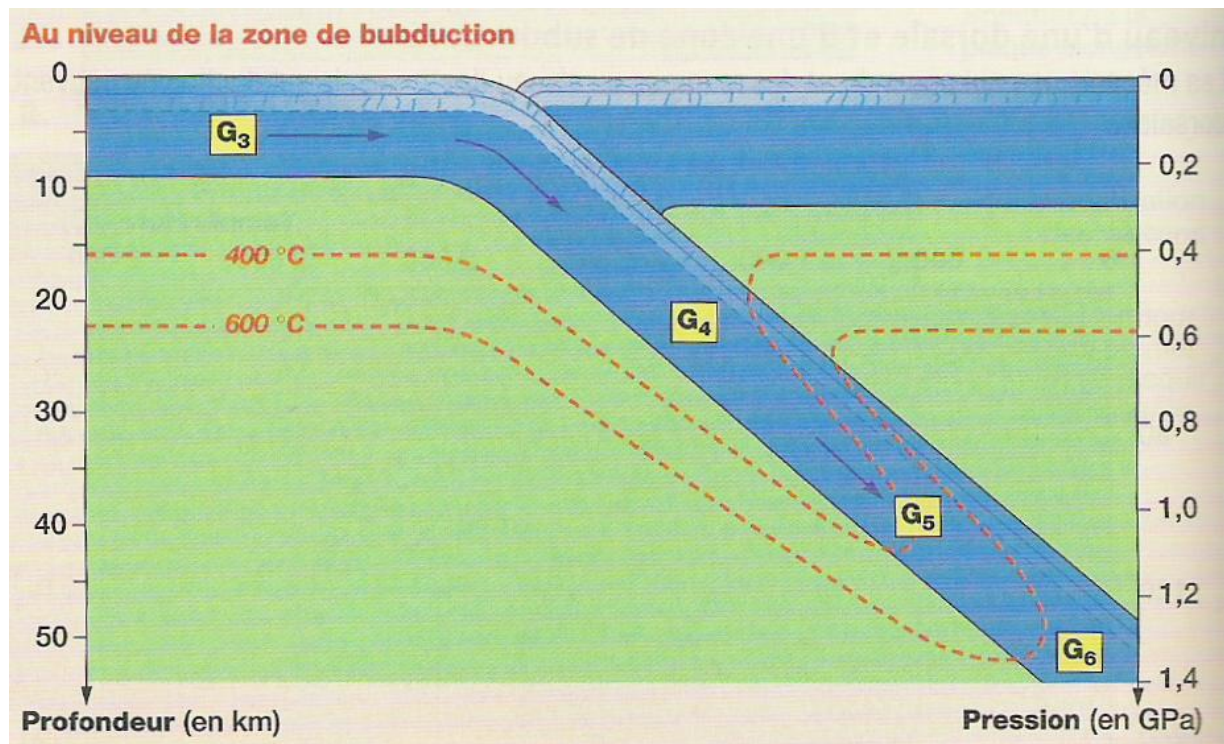
Marqueurs d'une subduction

Marqueurs d'une océanisation

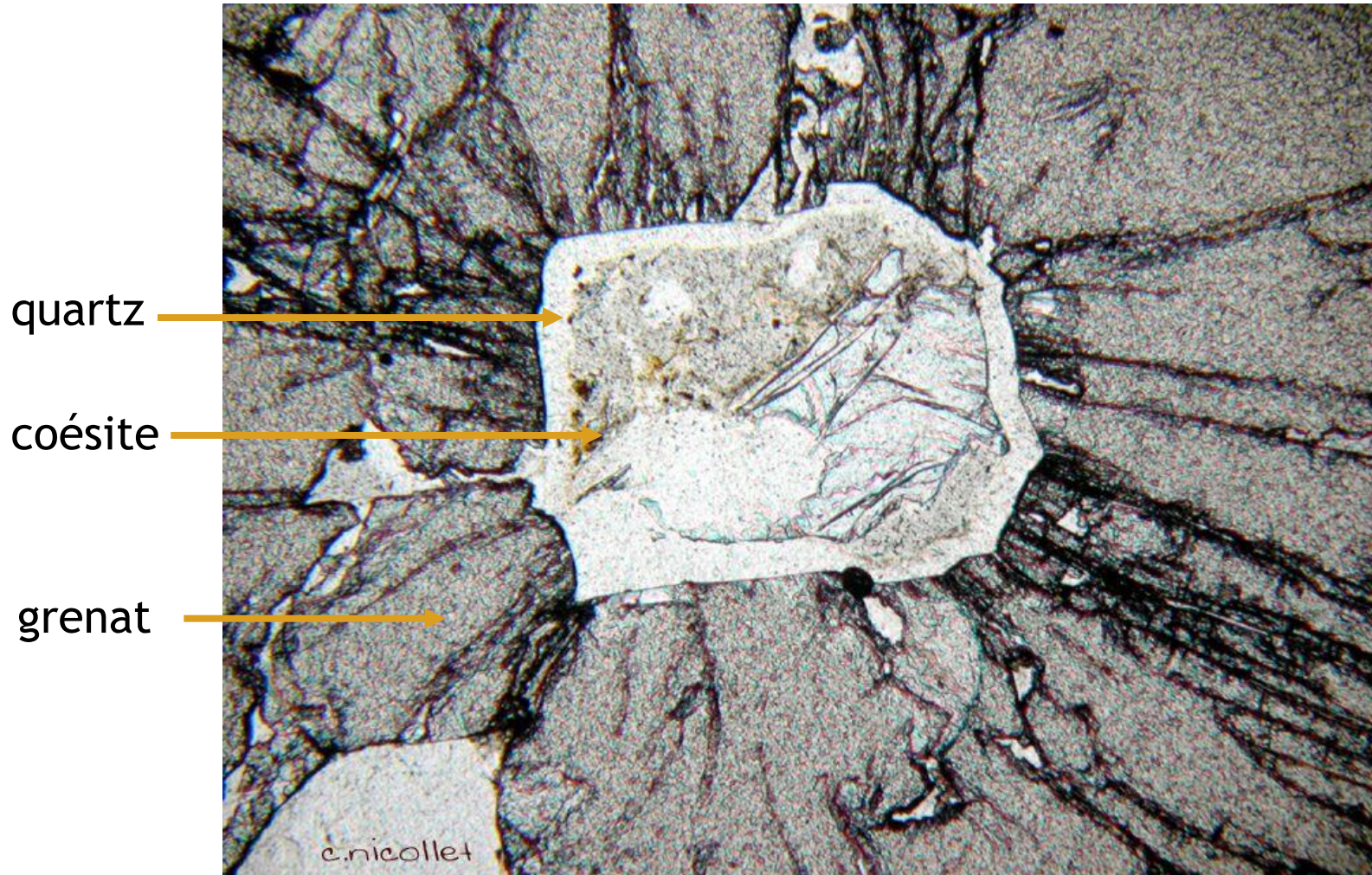


Trajet au cours du temps suite à l'éloignement de la dorsale

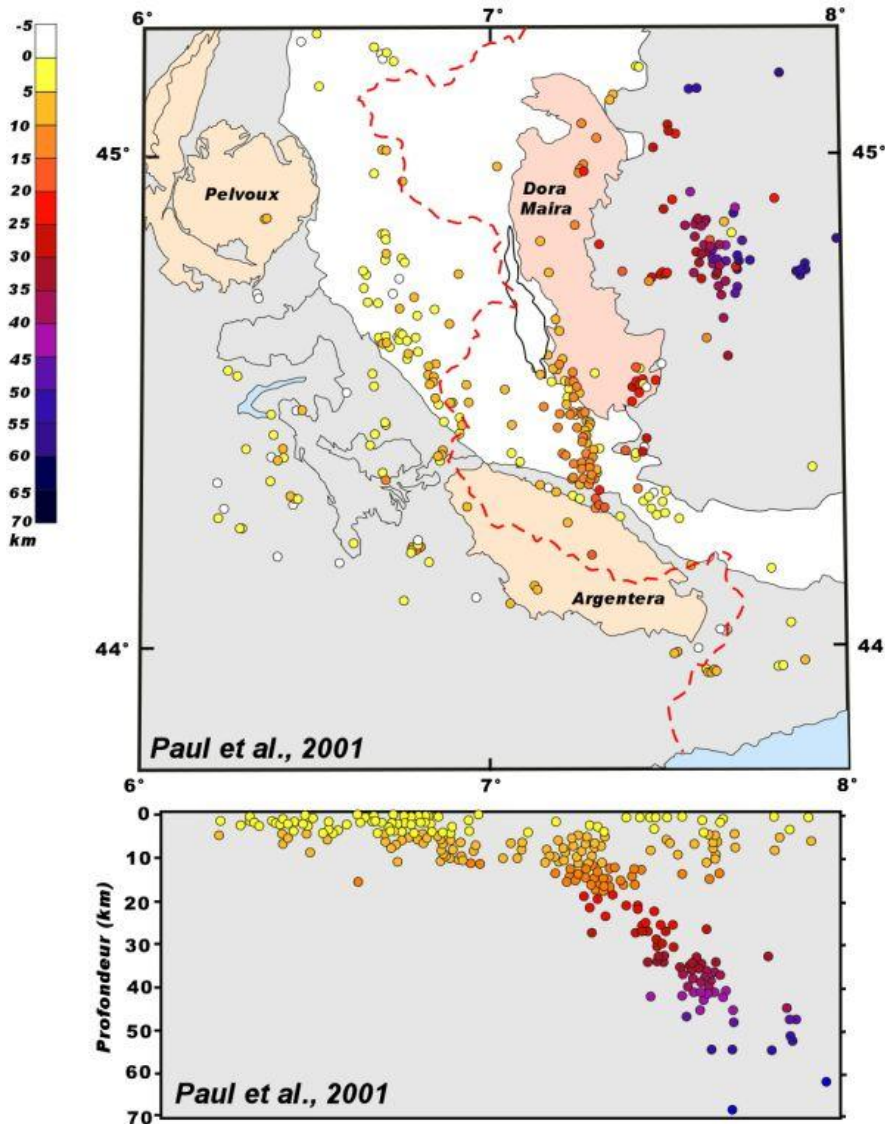
G6 $T^{\circ}C > 600^{\circ}C$ et profondeur $> 50km$



Coésite (transformation d'un quartz à UHP > 100km)

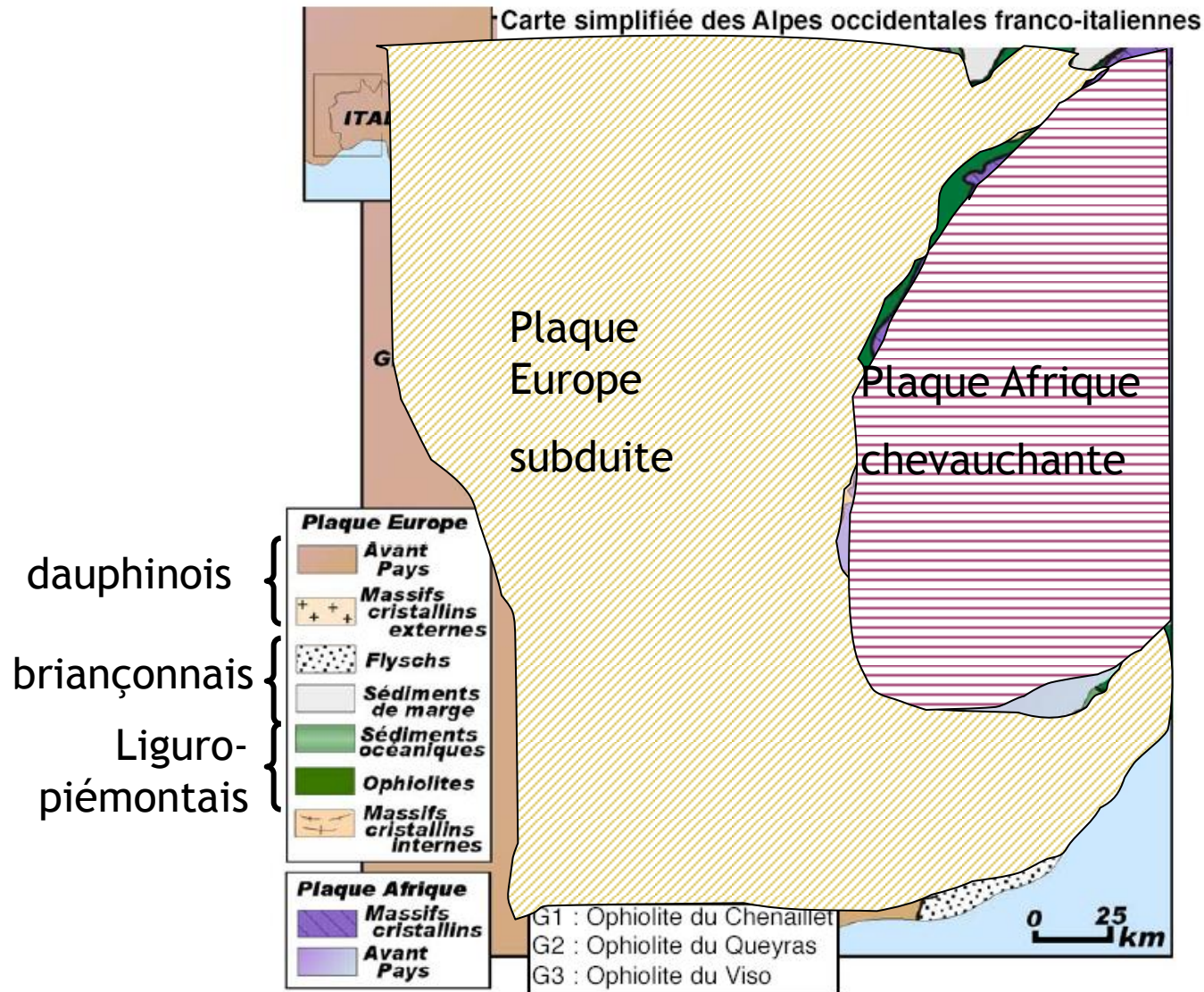


D'autres arguments en faveur d'une ancienne subduction dans les Alpes



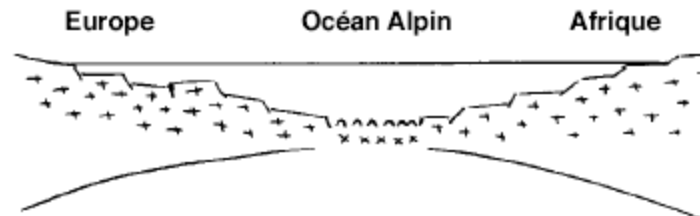
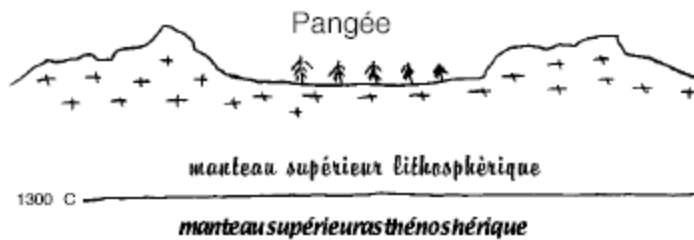
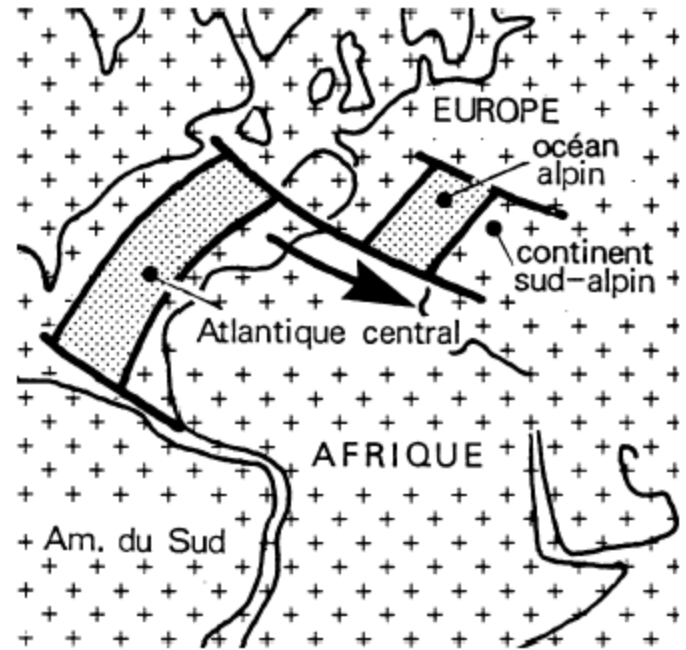
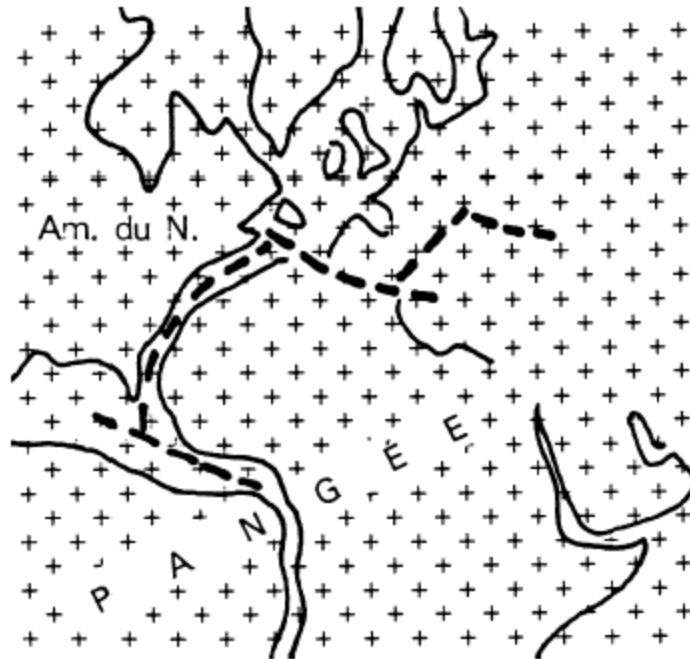
Carte de localisation des séismes après inversion 3D sur une carte structurale simplifiée et sur coupe ouest-est.

Identification des deux plaques mises en jeu dans la formation des Alpes

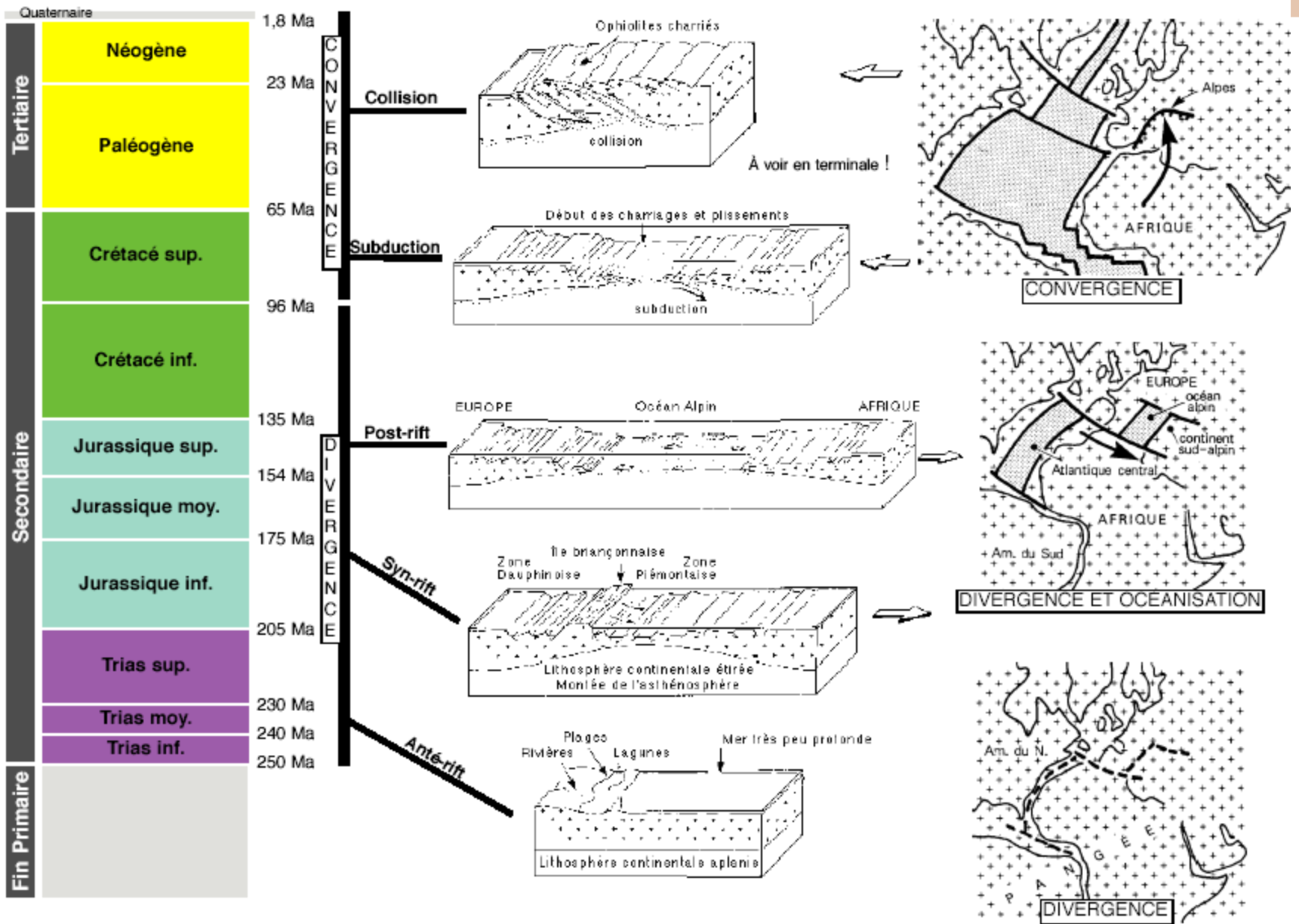


Vers la fin de l'ère primaire

À partir du jurassique supérieur

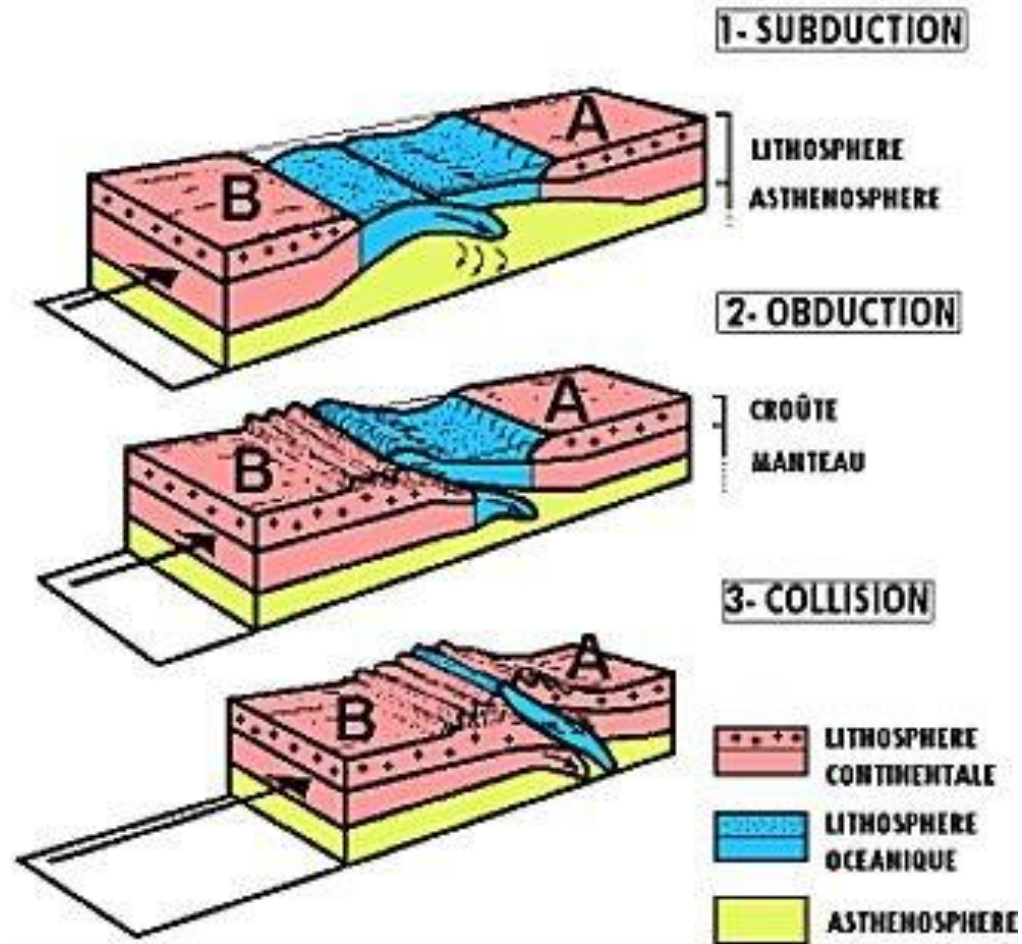


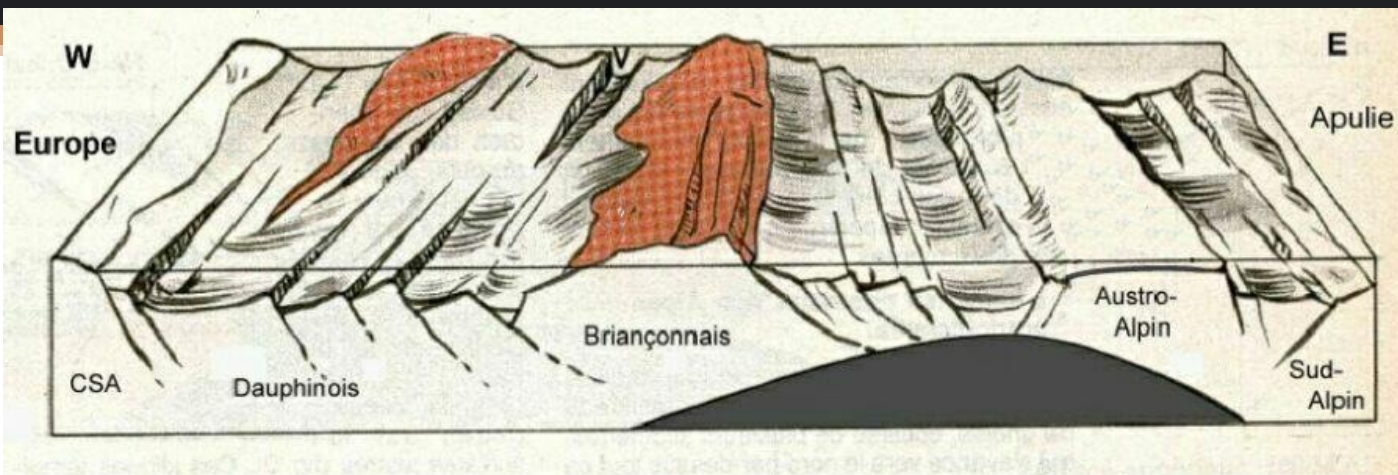
Source: document du CBGA



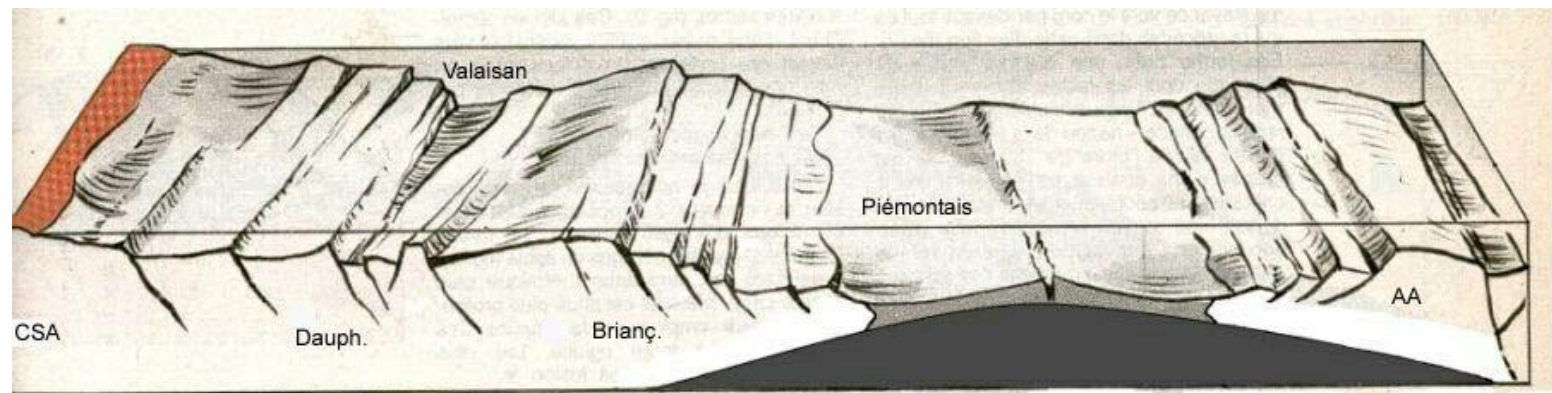
Source: document du CBGA

Modélisation de la formation des Alpes

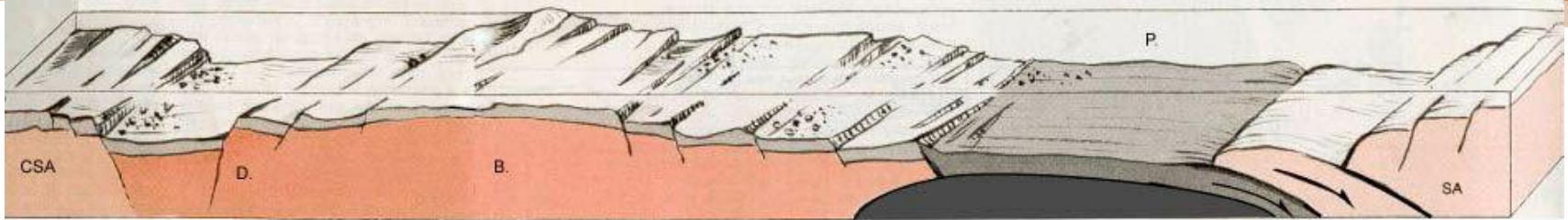




Au Trias, à la place des Alpes, un Rift Continental ; au Lias, le Domaine Briançonnais est émergé (coloré en rouge). CSA = Chaînes Sub-Alpins.

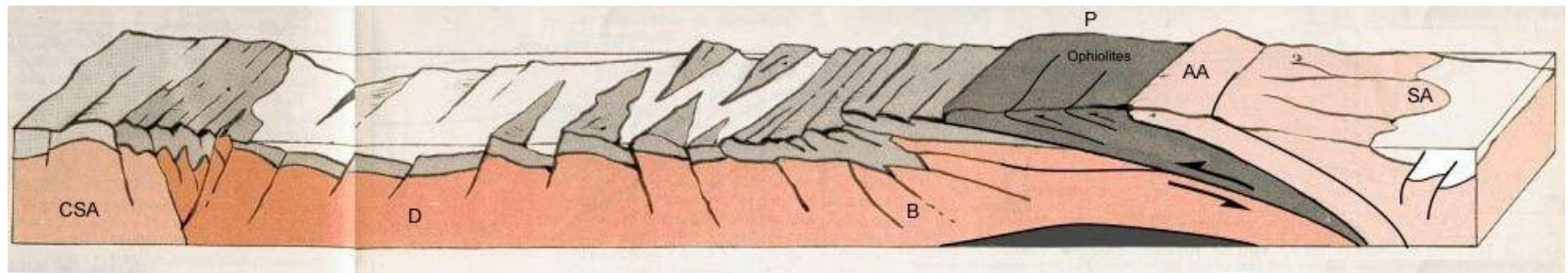


**Entre 165 et 120 Ma, c'est l'expansion océanique.
AA = Austro-Alpin (Marge Ligure)**

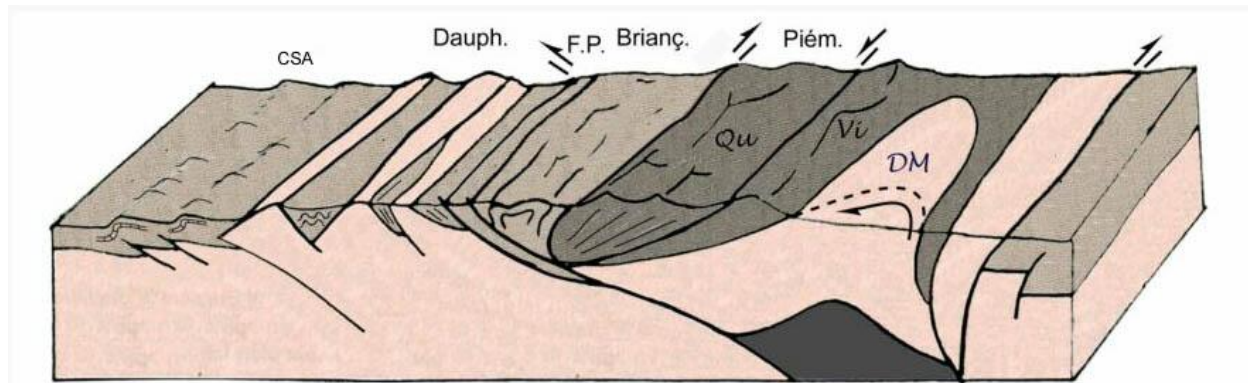


Entre 110 et 45 Ma, l'océan ligure se referme ...

D=Domaine Dauphinois, B=Domaine Briançonnais (Marge Européenne), P=Domaine Piémontais (Croûte Océanique),
 SB=Sud Alpin (Marge Ligure).



L'obduction de la marge européenne (vers 45 Ma) précède la collision ...



... qui se poursuit aujourd'hui ...

Traces écrites

- Dans les Alpes, on trouve des roches présentant des minéraux en **auréole ou encore des foliations**. Ces structures particulières révèlent des **transformations métamorphiques**. Au Queyras les métagabbros trouvés, présentent de la **glaucophane**, minéral stable à **BT-MP**. Cette MP, révèle un enfouissement de la roche et donc une subduction.
- Plus à l'Est, dans le Viso, on trouve des métagabbros avec de la **jadéite et du grenat**. Ces minéraux sont stables dans des conditions de **MT-HP**. Cette haute pression, signifie que la roche a été enfouie, et donc révèle un contexte de subduction. De plus, on peut remarquer que lors d'une subduction la roche plonge plus vite qu'elle ne se réchauffe.
- Dans le Massif de Dora Maira, encore plus à l'Est (en Italie), on trouve de la coésite, minéral stable à UHP.
- On comprend donc , que les Alpes ont connu un épisode de **subduction**, la plaque occidentale (européenne) plongeant sous la plaque orientale (africaine).
- La répartition actuelle des foyers sismiques sous les Alpes confirme ce sens NW-SE de l'ancienne subduction, qui semble encore être entretenue de nos jours.