



TP AVG

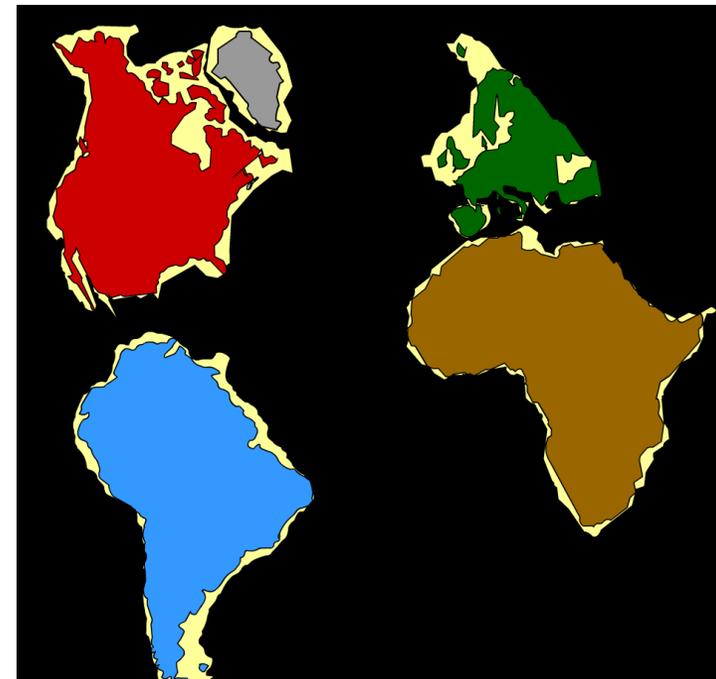
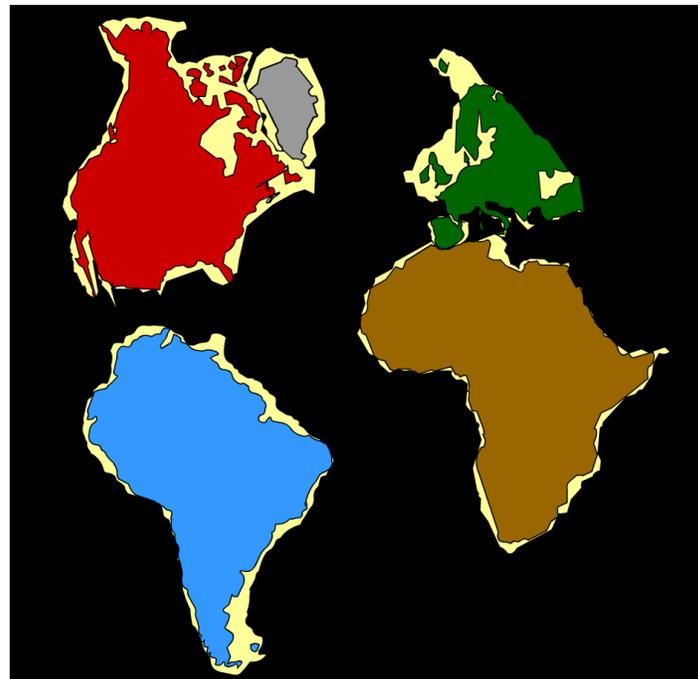
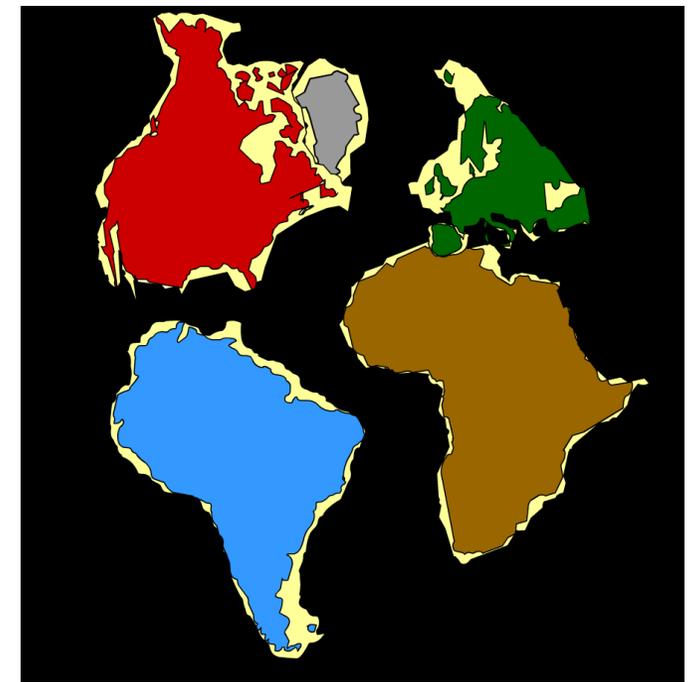
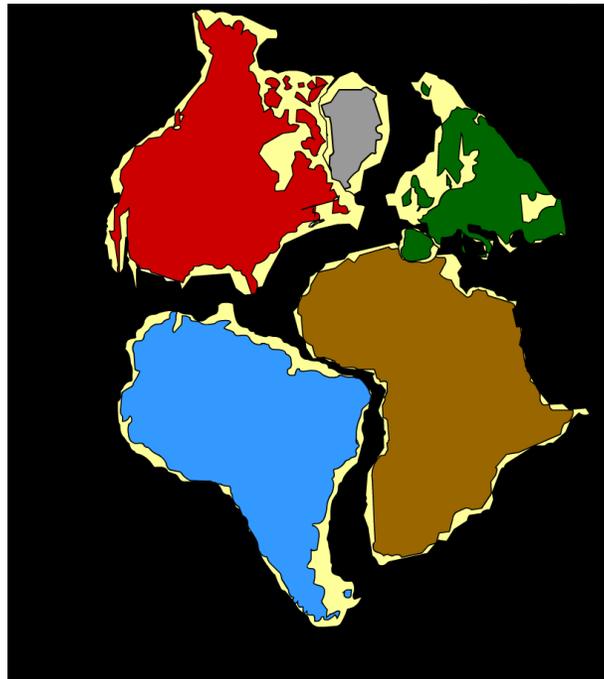
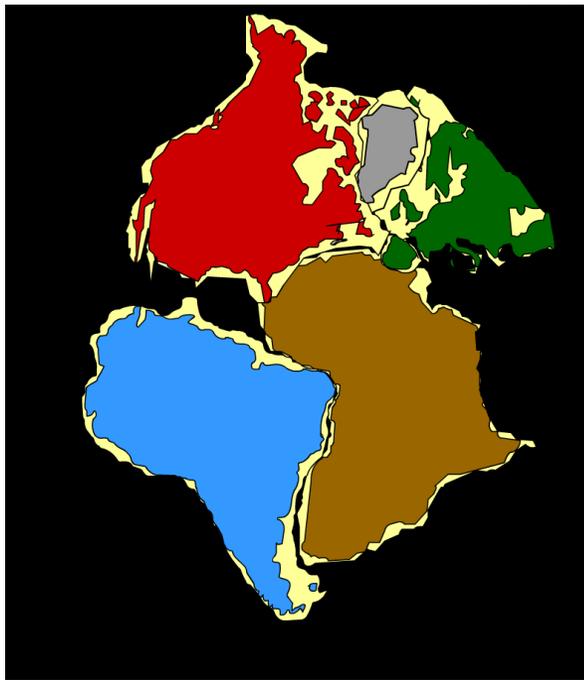
4 mars 2023

Accrétion océanique, expansion et subduction

Quelques rappels



[Animation 1](#)



Images extraites de
l'animation précédente
« Bullard » (animation du
site « ScienceProf.com »
fichier swf)



**Structure de la croûte océanique ?
Comment est-elle fabriquée ?**



Gabbro



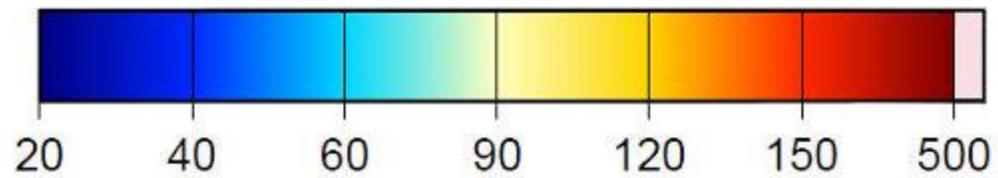
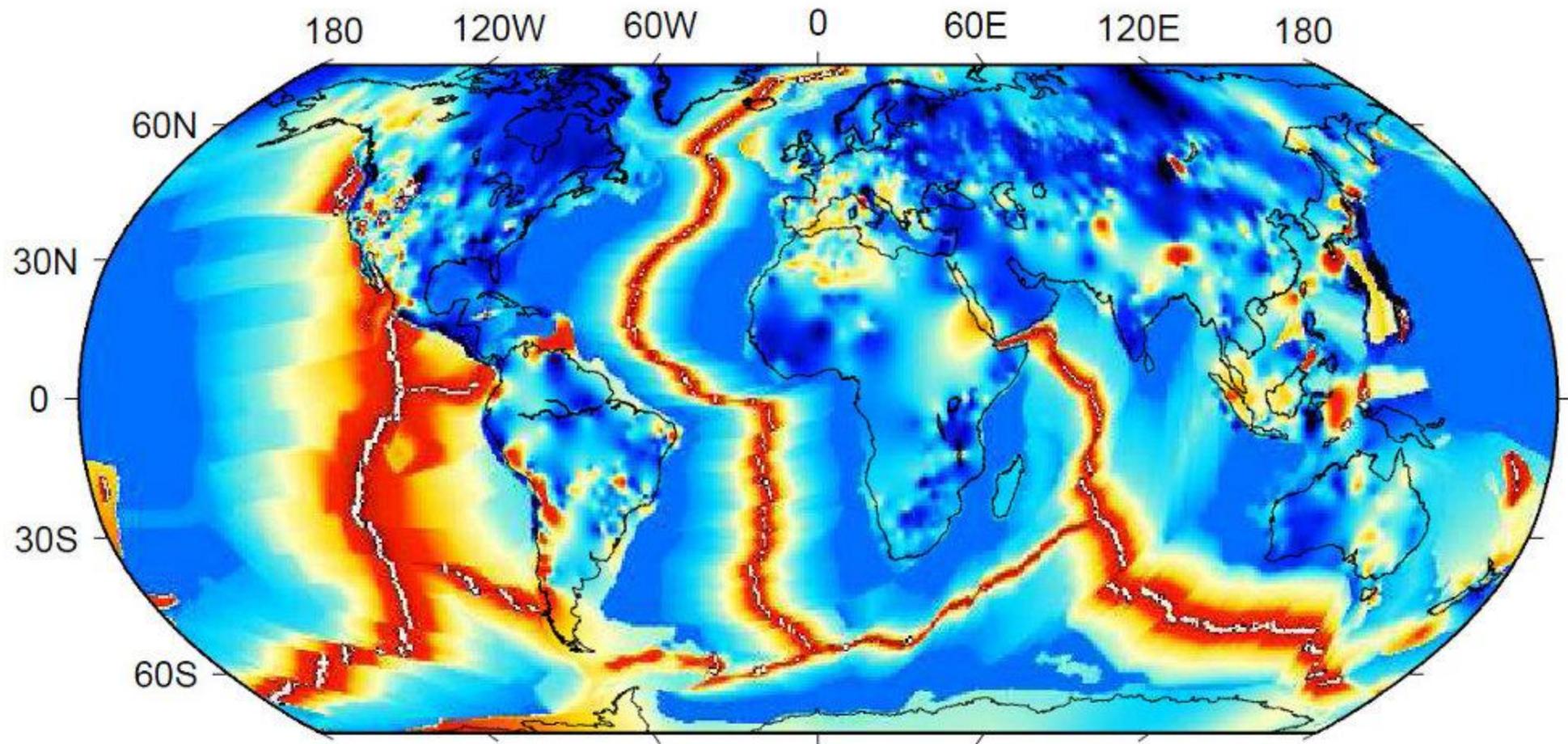
Basalte



Magma basaltique

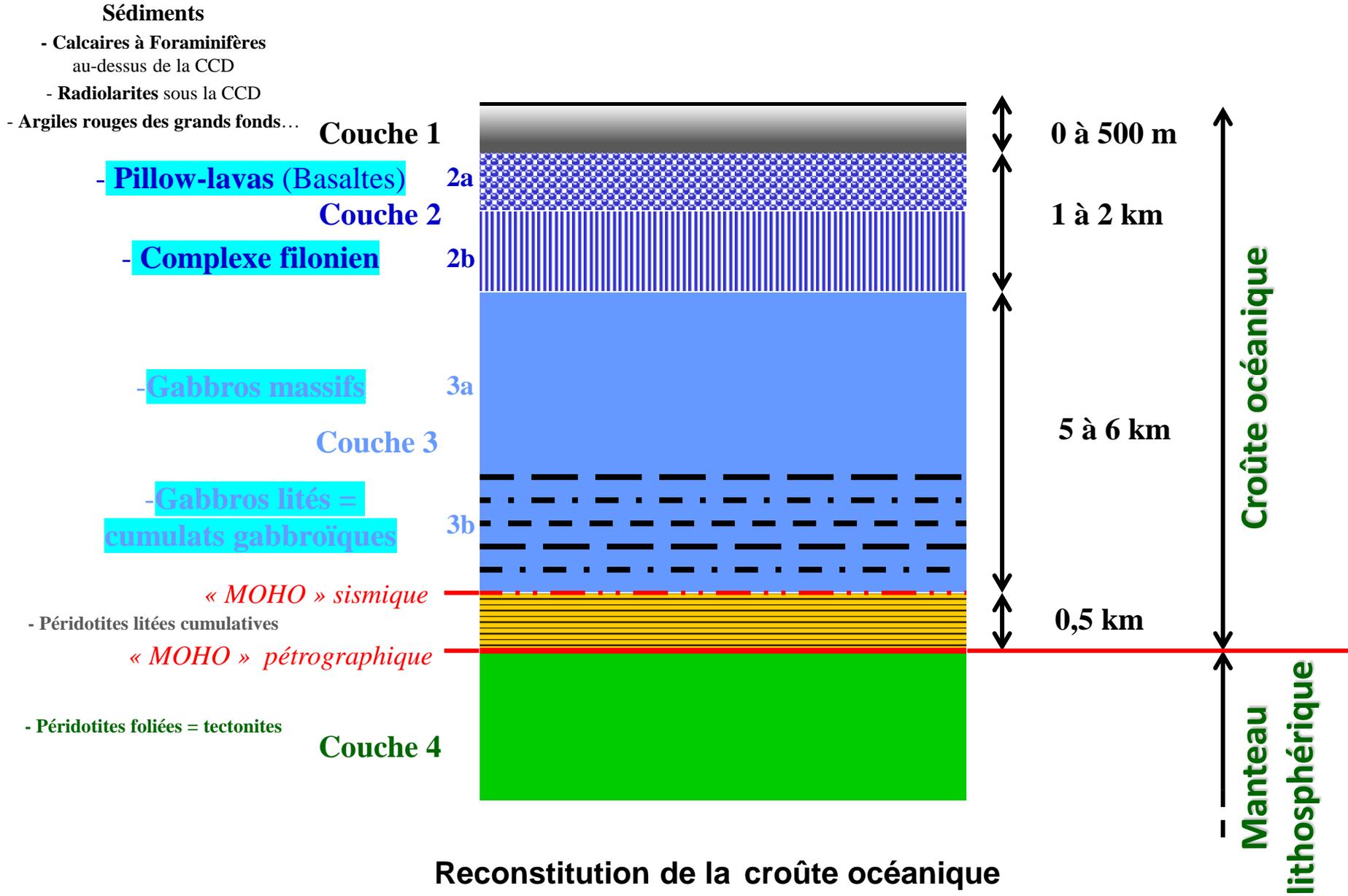


Fusion partielle de la
péricdotite du manteau



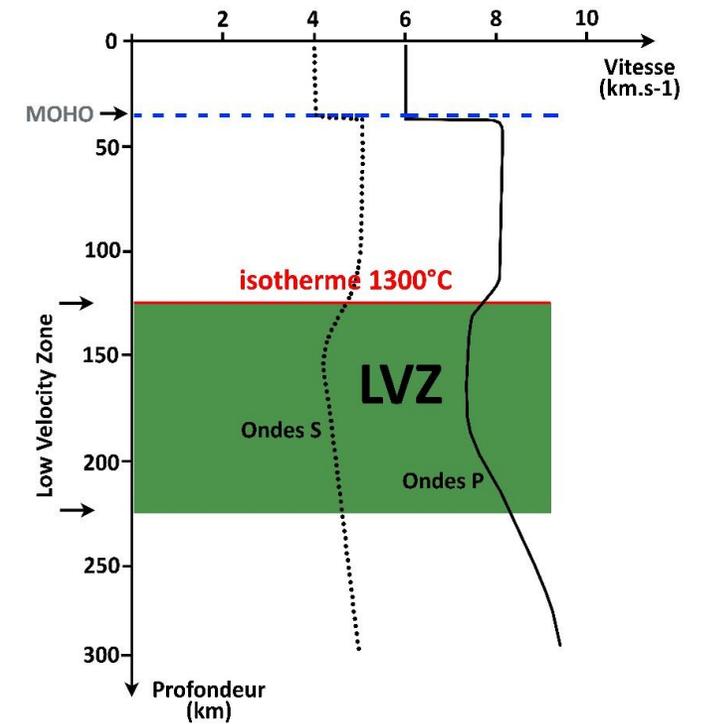
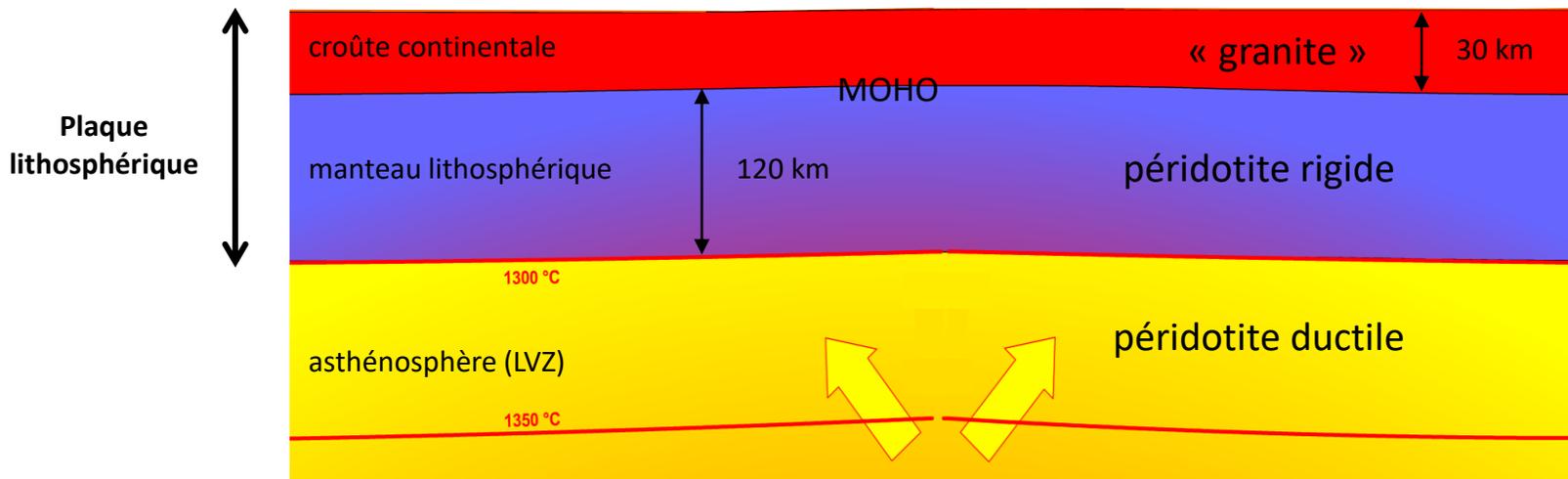
mW m^{-2}

A. Structure de la croûte océanique

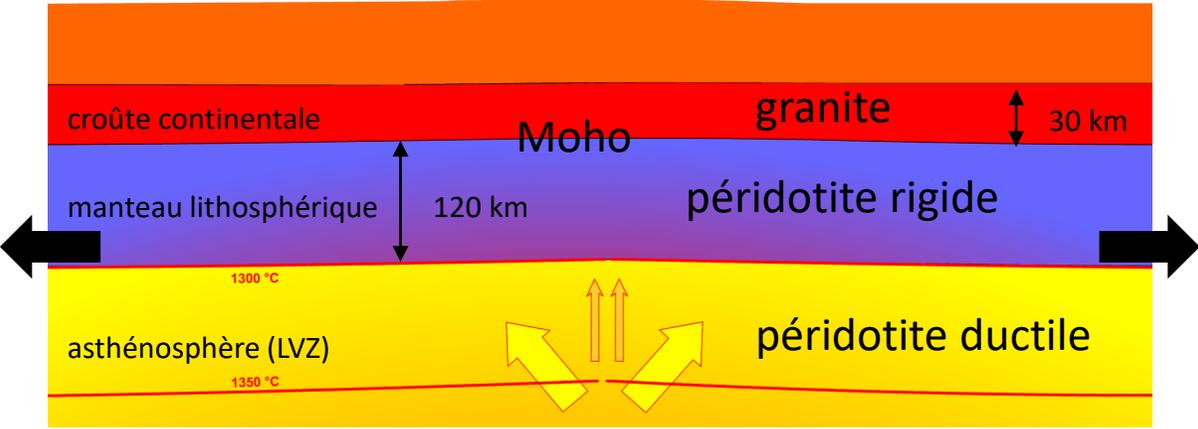


Reconstitution de la croûte océanique (Modèle de Penrose - 1972)

B. Mécanismes de l'accrétion océanique

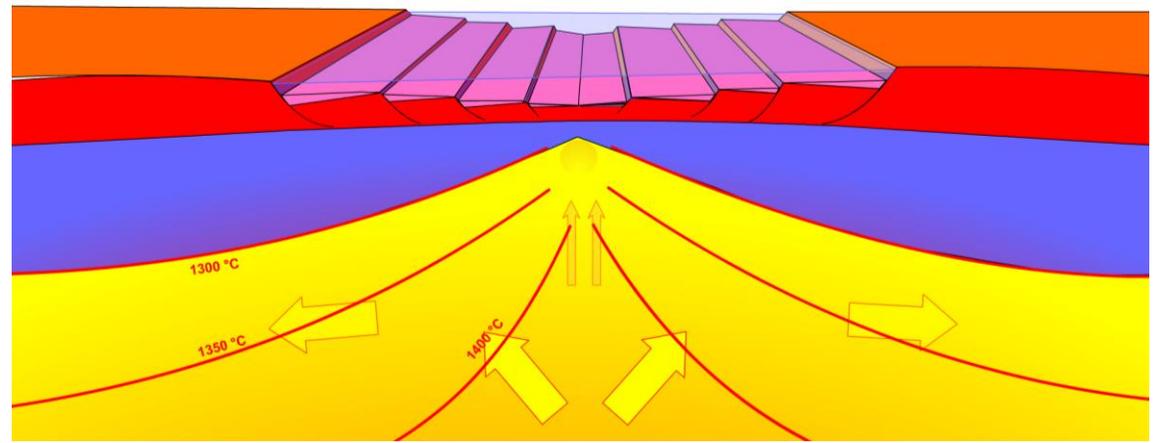


Début de l'étirement continental



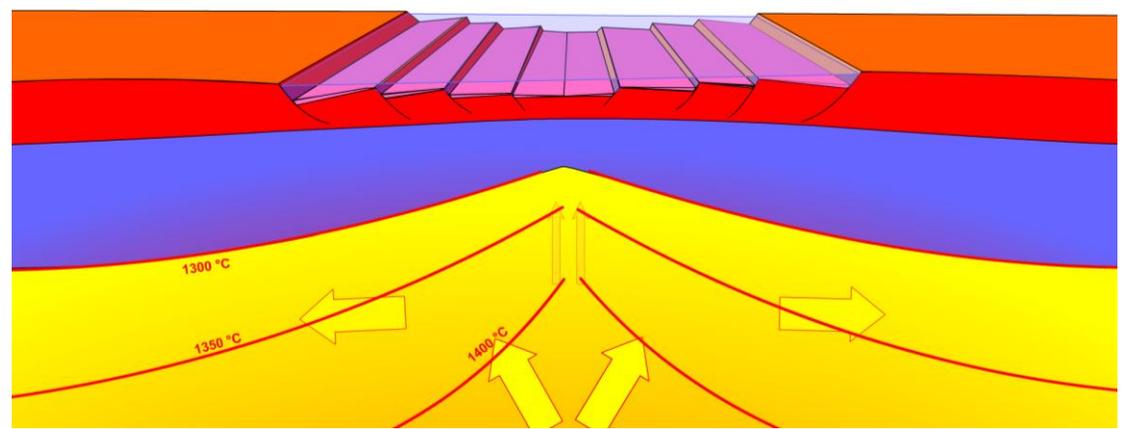
1

Fracturation des deux futures marges en blocs basculés



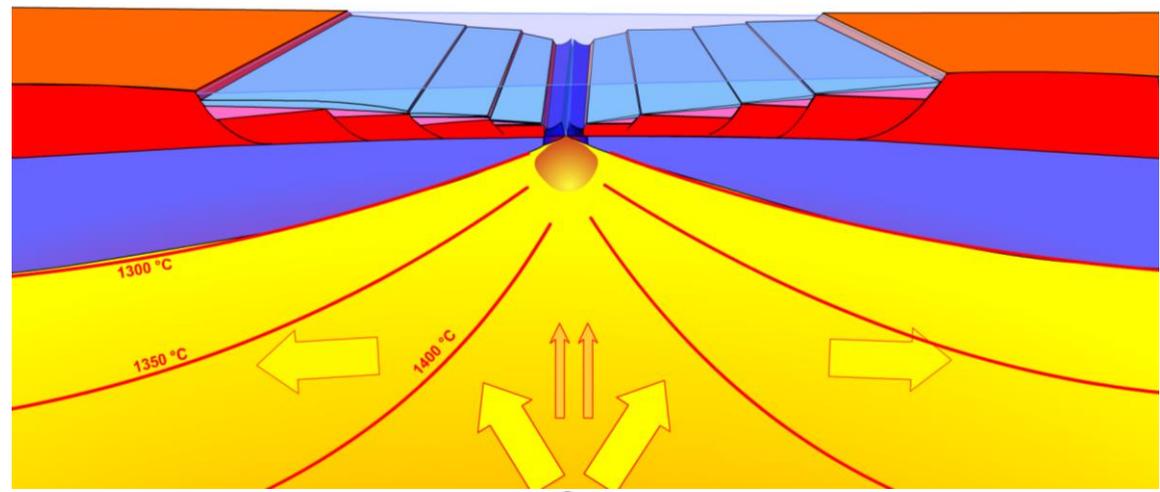
3

Rifting continental

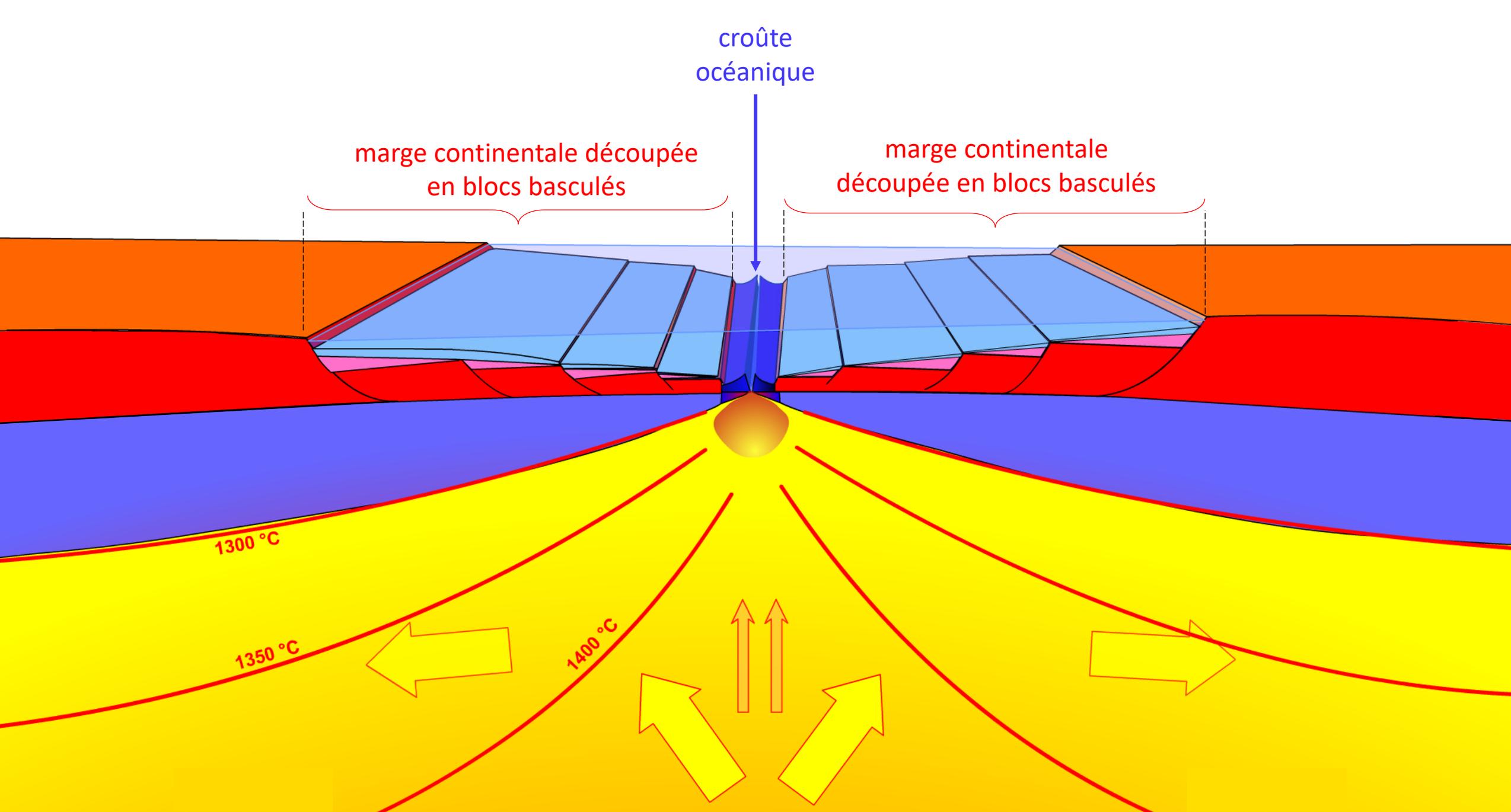


2

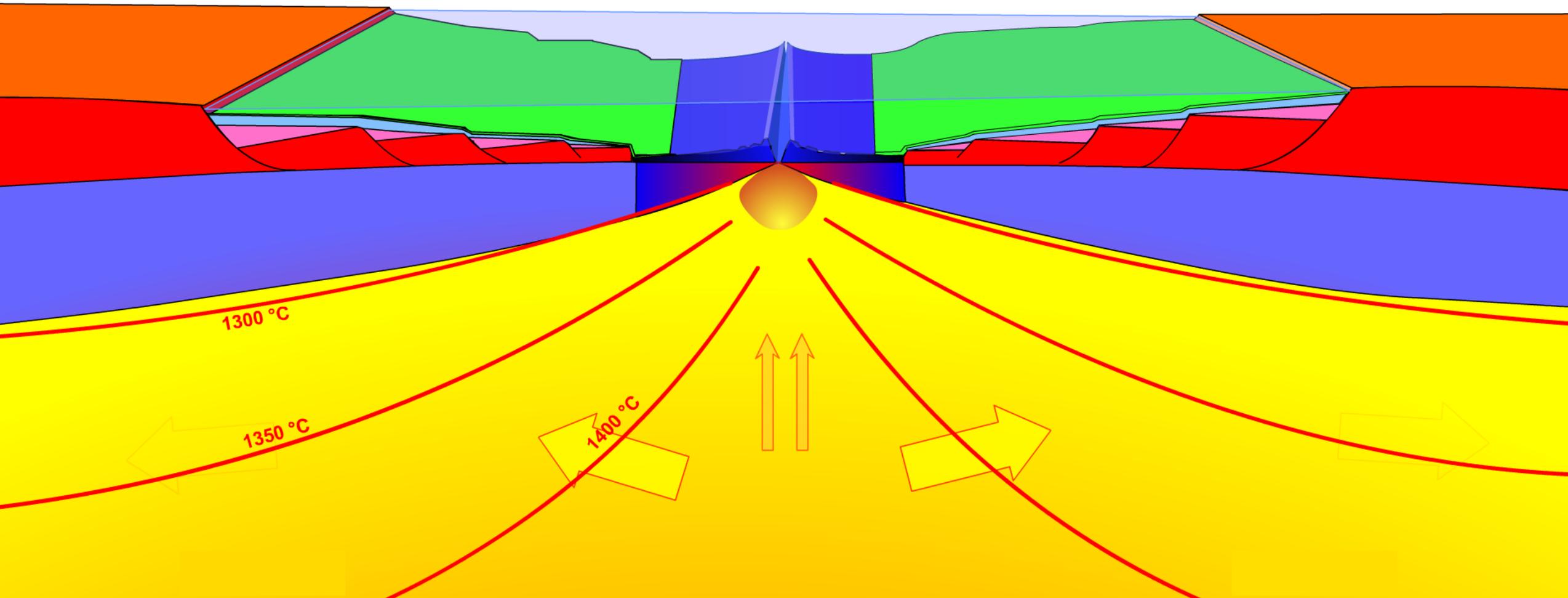
Début de l'accrétion océanique



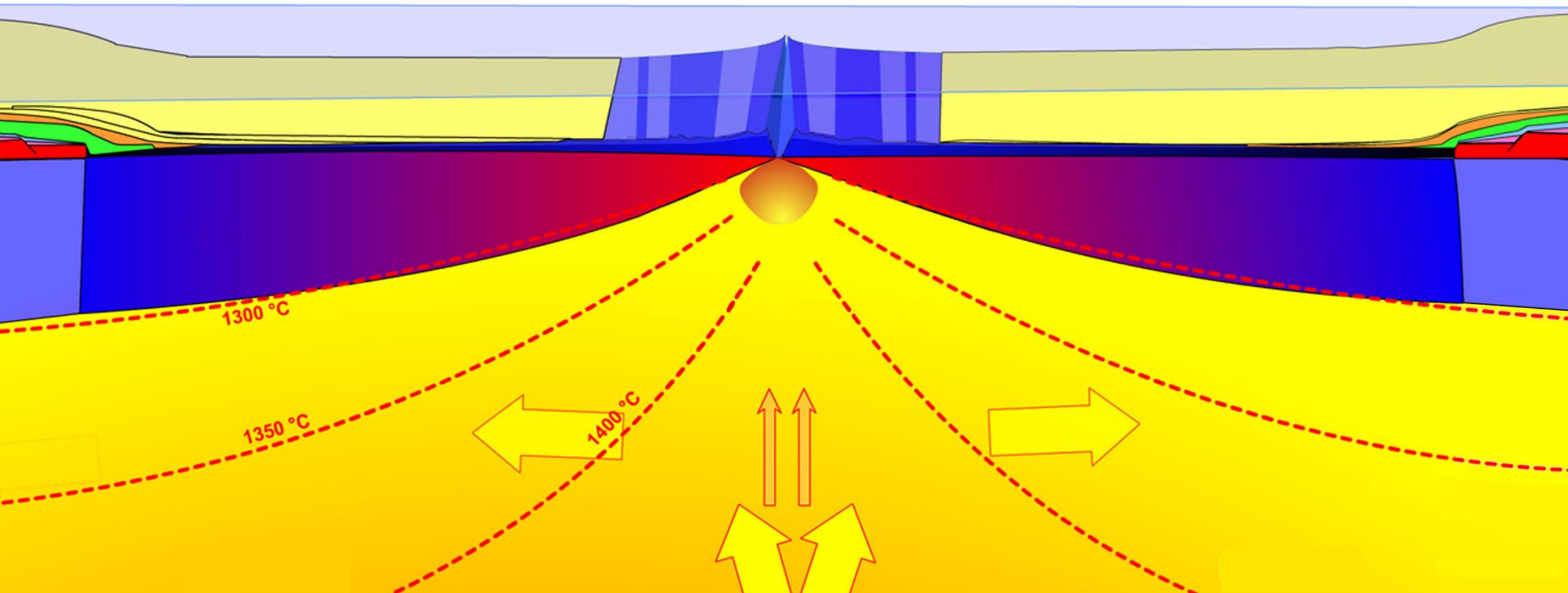
4



L'océan s'élargit.
Des sédiments marins
commencent à se déposer
sur la jeune croûte.

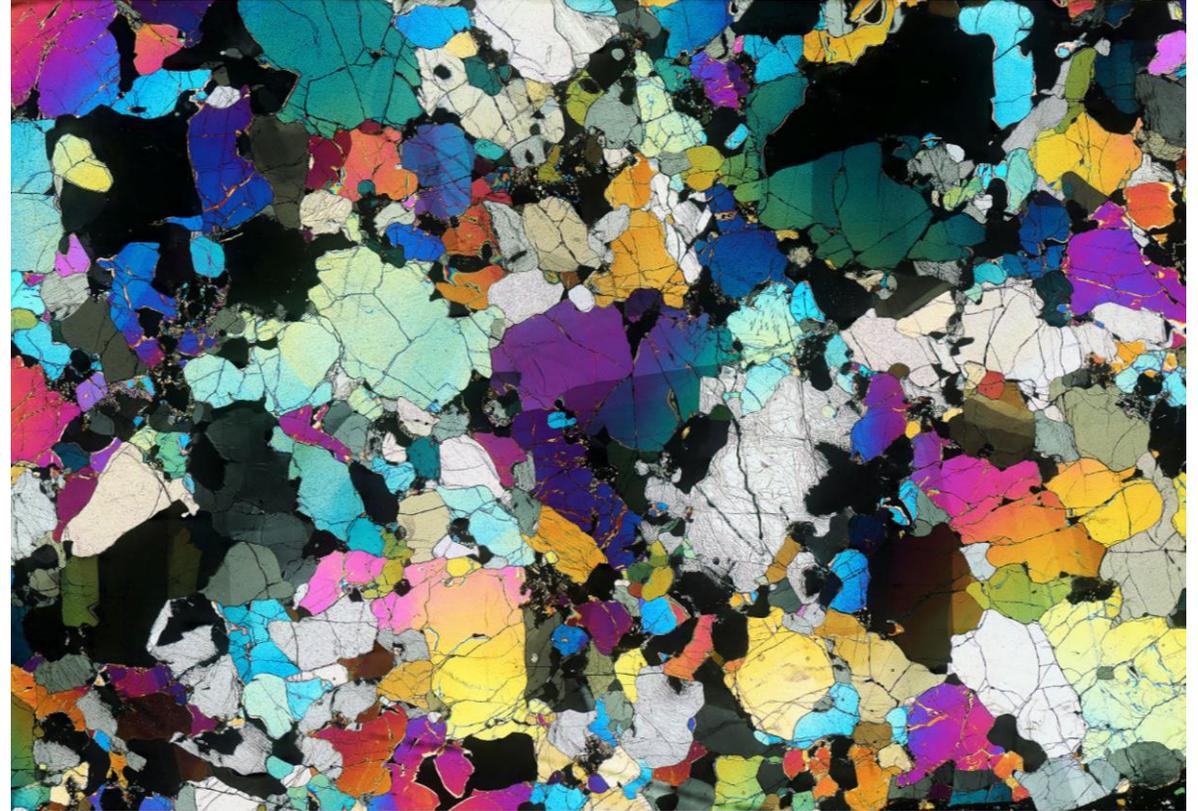


Puis la croûte océanique enregistre
les inversions
du champ magnétique terrestre
au fur et à mesure qu'elle s'élargit.

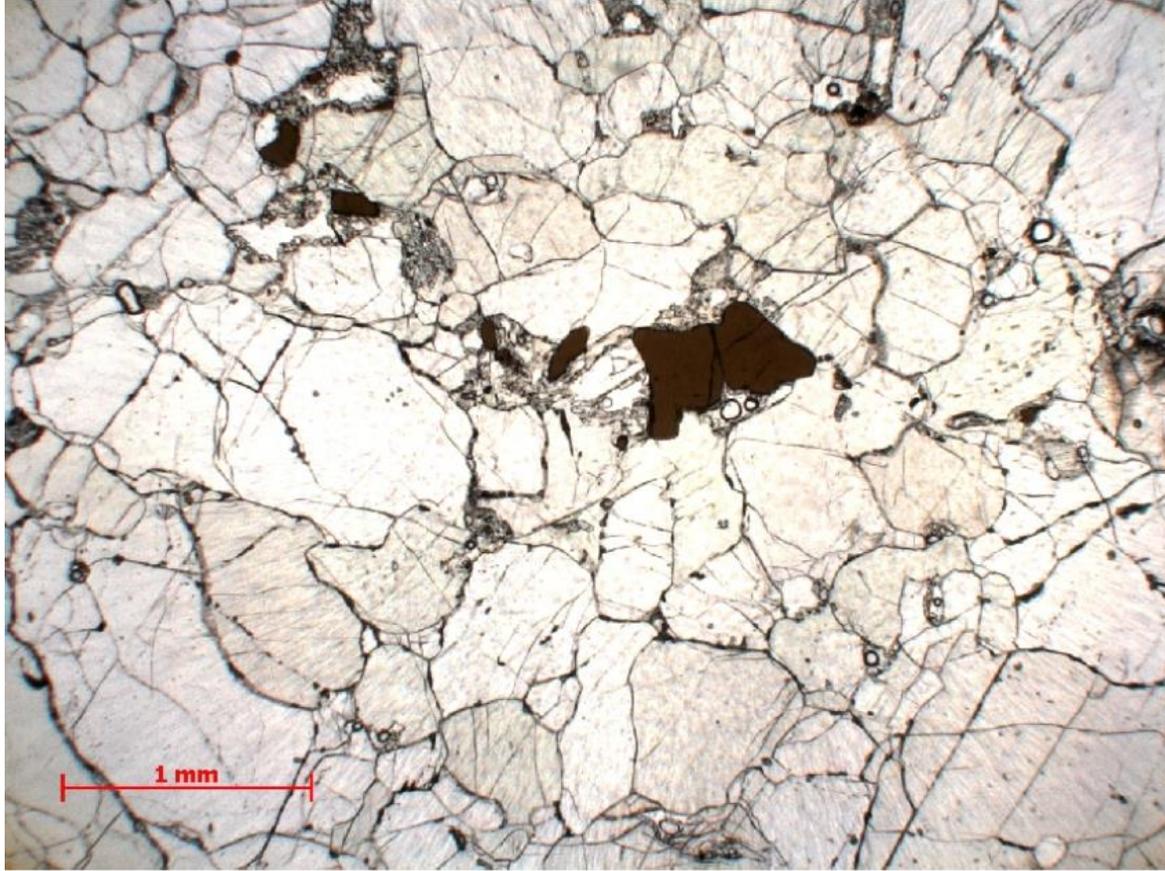




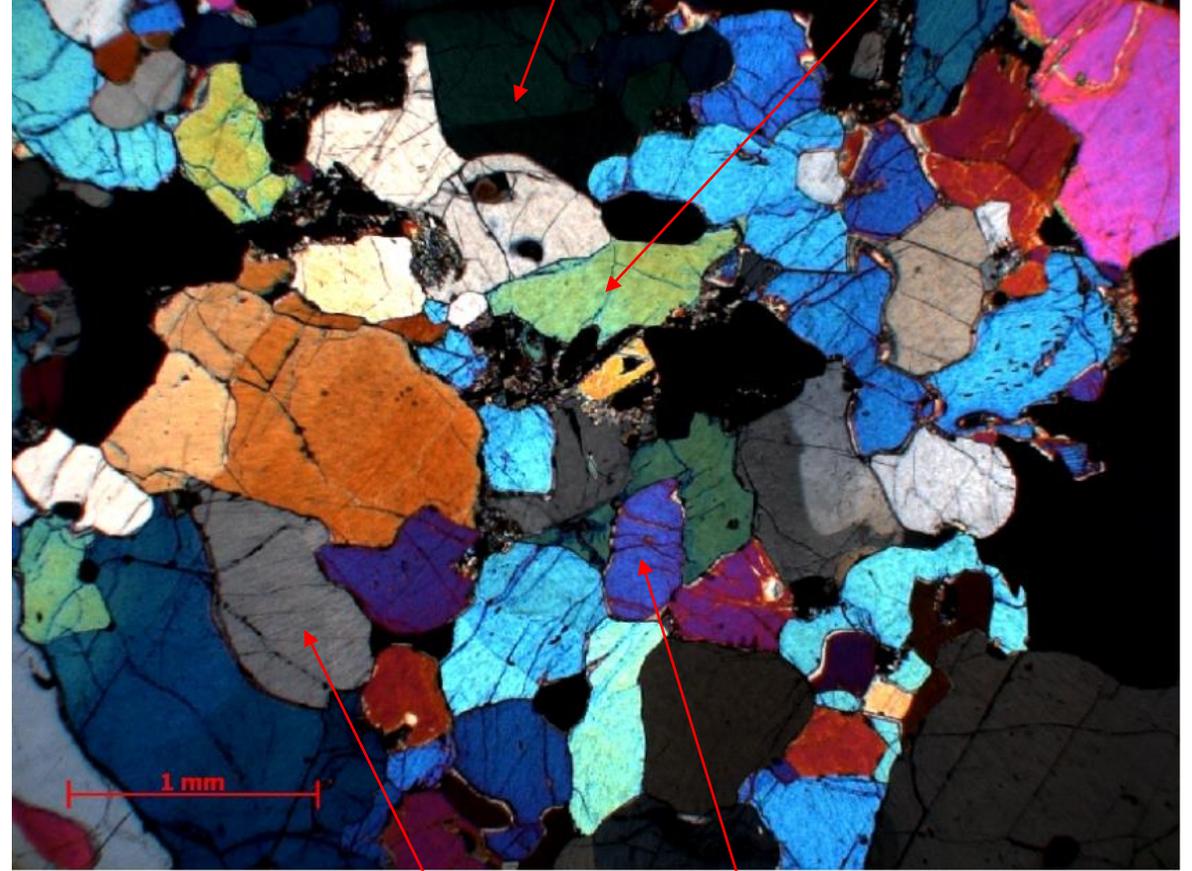
Échantillon de péridotite



Lame mince de péridotite en LPA



Photographie : Damien Mollex



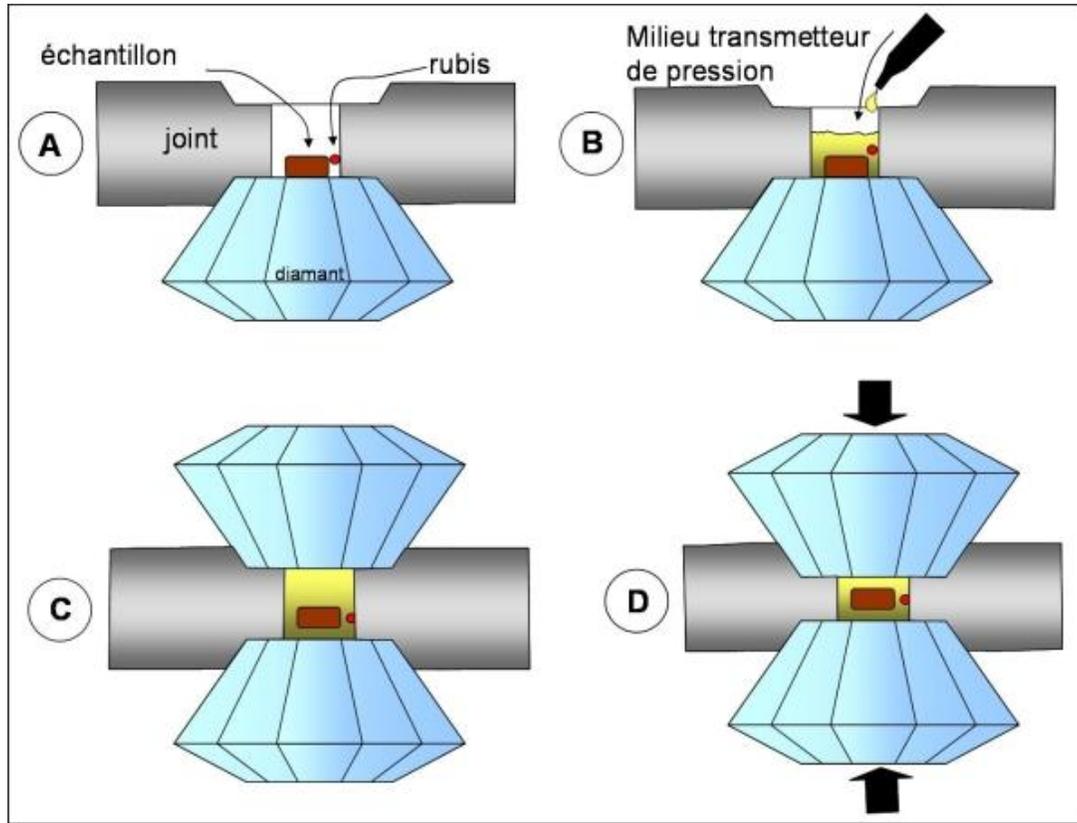
spinelle (brun vert sombre)

clinopyroxène
(vert pâle - section à 2 clivages)

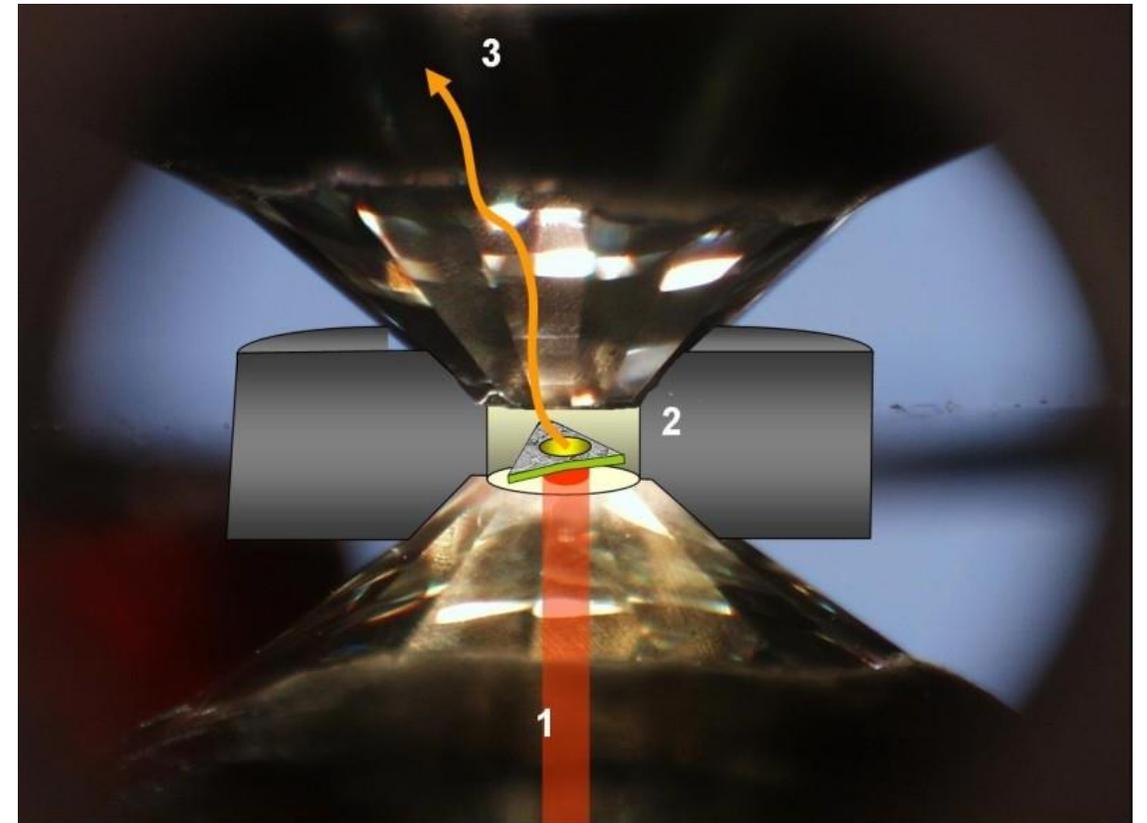
orthopyroxène
(beige - section à 2 clivages)

olivine craquelée
avec sous-joints et sous-grains

Photographie : Damien Mollex

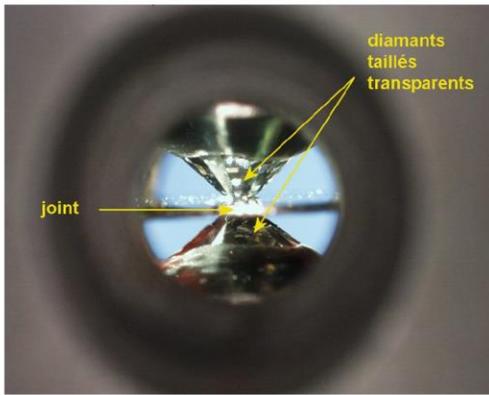


La cellule à enclumes de diamant



3000° C

Pressions de l'ordre de 40 GPa



La cellule à enclumes de diamant observée de profil

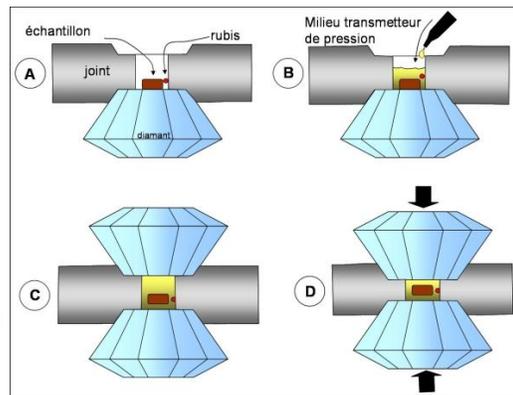


Schéma de la cellule à enclumes de diamant

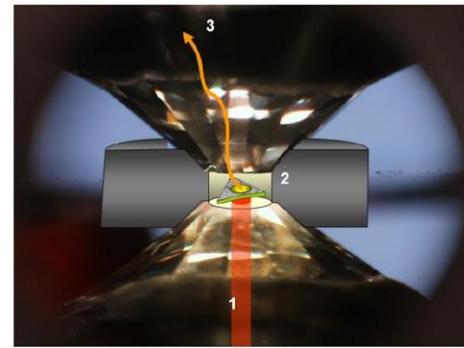
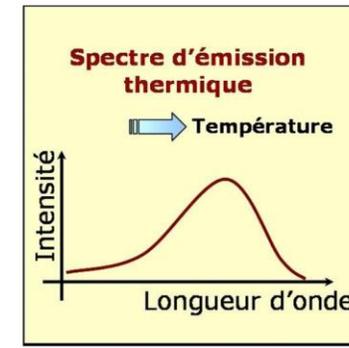
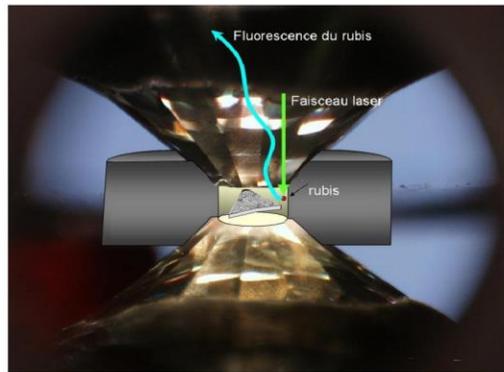


Schéma de principe du chauffage d'un échantillon comprimé en cellule à enclumes de diamant

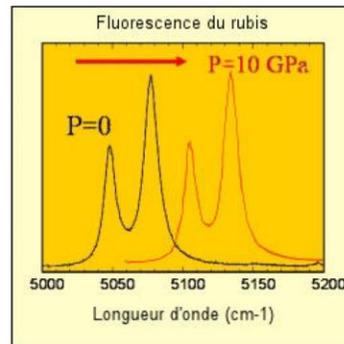


Analyse par spectromètre du rayonnement émis par la partie chauffée de l'échantillon

Un laser de type CO₂ émet un faisceau infrarouge qui par un jeu de miroirs est amené dans une lentille qui focalise le faisceau (1) sur l'échantillon comprimé dans une cellule à enclumes de diamant (2). Un microscope permet d'observer l'échantillon et d'analyser à l'aide d'un spectromètre le rayonnement émis par la zone chaude de l'échantillon (3) pour estimer la température.

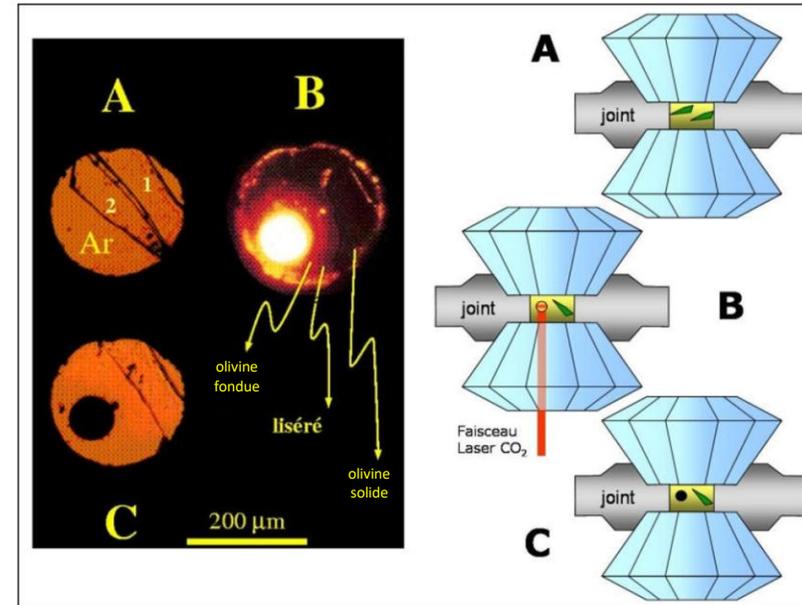


Coupe schématique d'une cellule à enclumes de diamant et fluorescence du rubis



Décalage des raies de fluorescence du rubis avec la pression

Des éclats de rubis permettent de mesurer la pression à laquelle est soumise l'échantillon. Les rubis dopés avec des ions Cr³⁺ émettent une fluorescence quand ils sont éclairés par un faisceau laser. Cette fluorescence est analysée par un spectromètre. Le spectre montre deux raies de fluorescence qui se décalent avec la pression. Le décalage est calibré en fonction de la pression.



Expérience de fusion à haute pression de l'olivine en cellule à enclumes de diamant

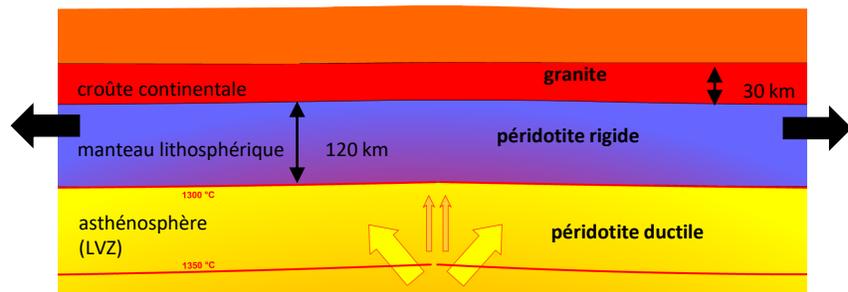
- Les images de gauche sont prises au travers des diamants
- L'argon est utilisé comme milieu de transmission de la pression

En A, 1 et 2 sont deux cristaux d'olivine épais de 15 mm et comprimés dans de l'argon à 15 GPa.

En B, le faisceau laser fait fondre le cristal d'olivine n°2. La température atteinte est alors de l'ordre de 2300°C.

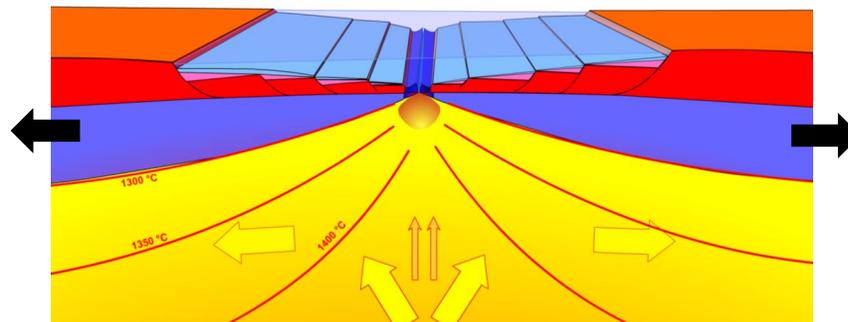
En C, après coupure du faisceau laser, la température redescend à la température ambiante en une fraction de seconde et le cristal n°2 devenu une gouttelette liquide, est alors instantanément transformé en un verre.

Début de l'étirement continental

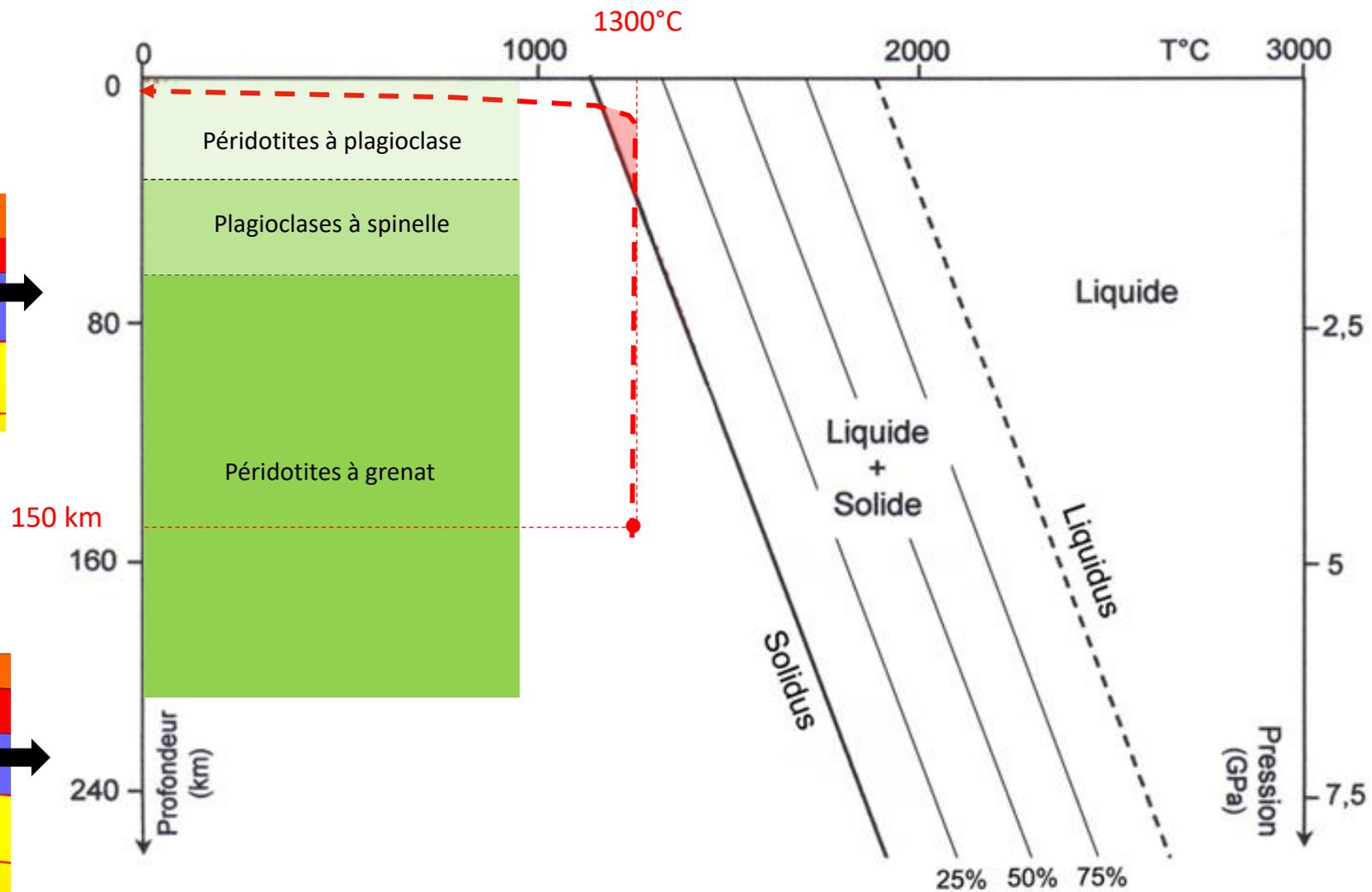


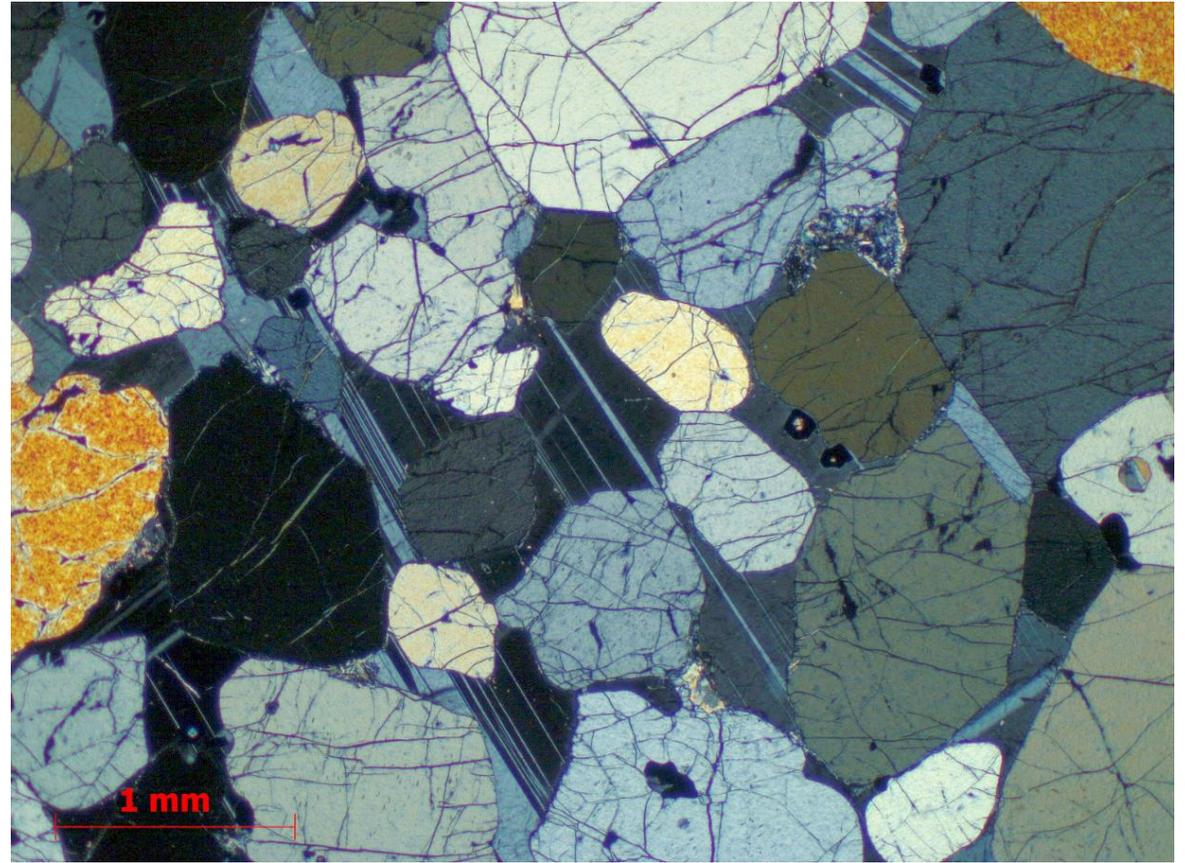
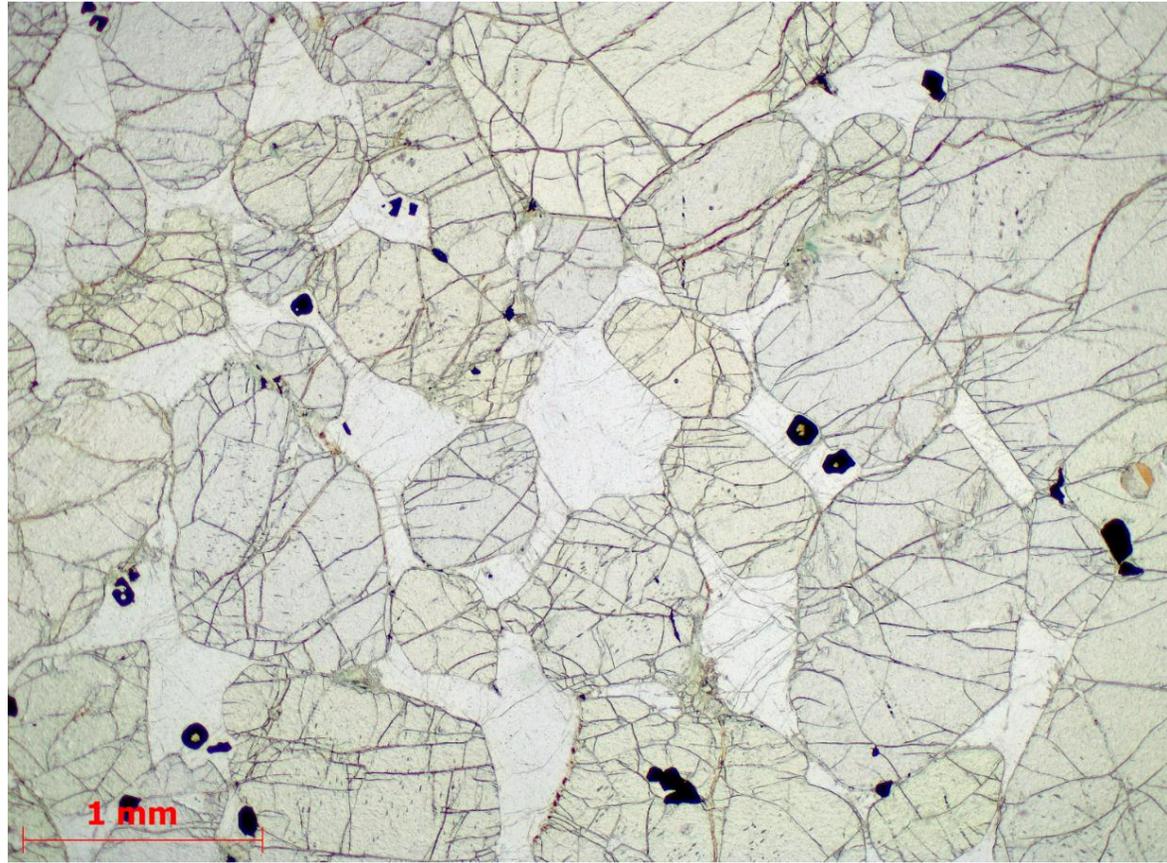
1

Début de l'accrétion océanique

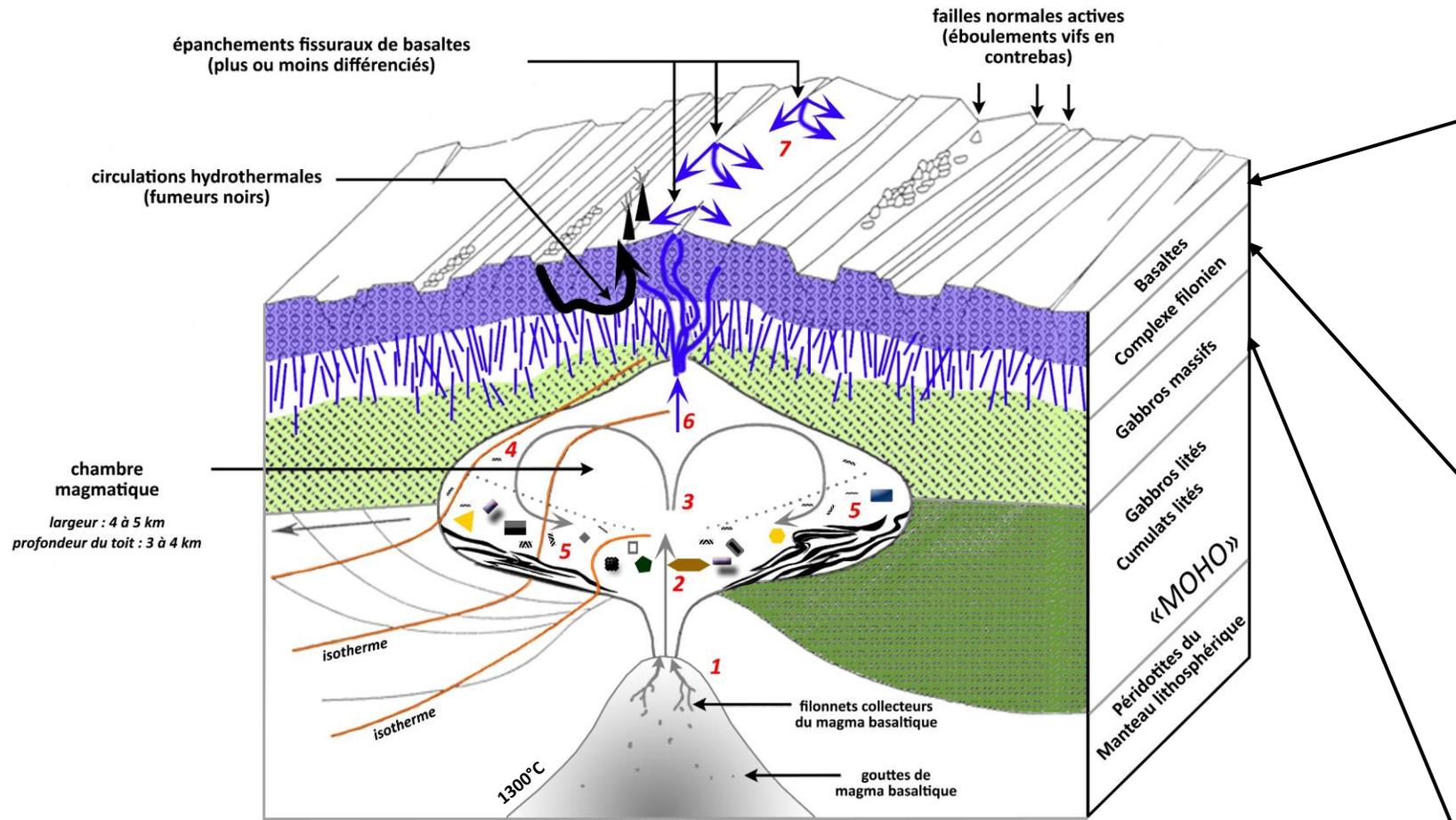


4





Mise en place et cristallisation du magma basaltique au niveau de la dorsale



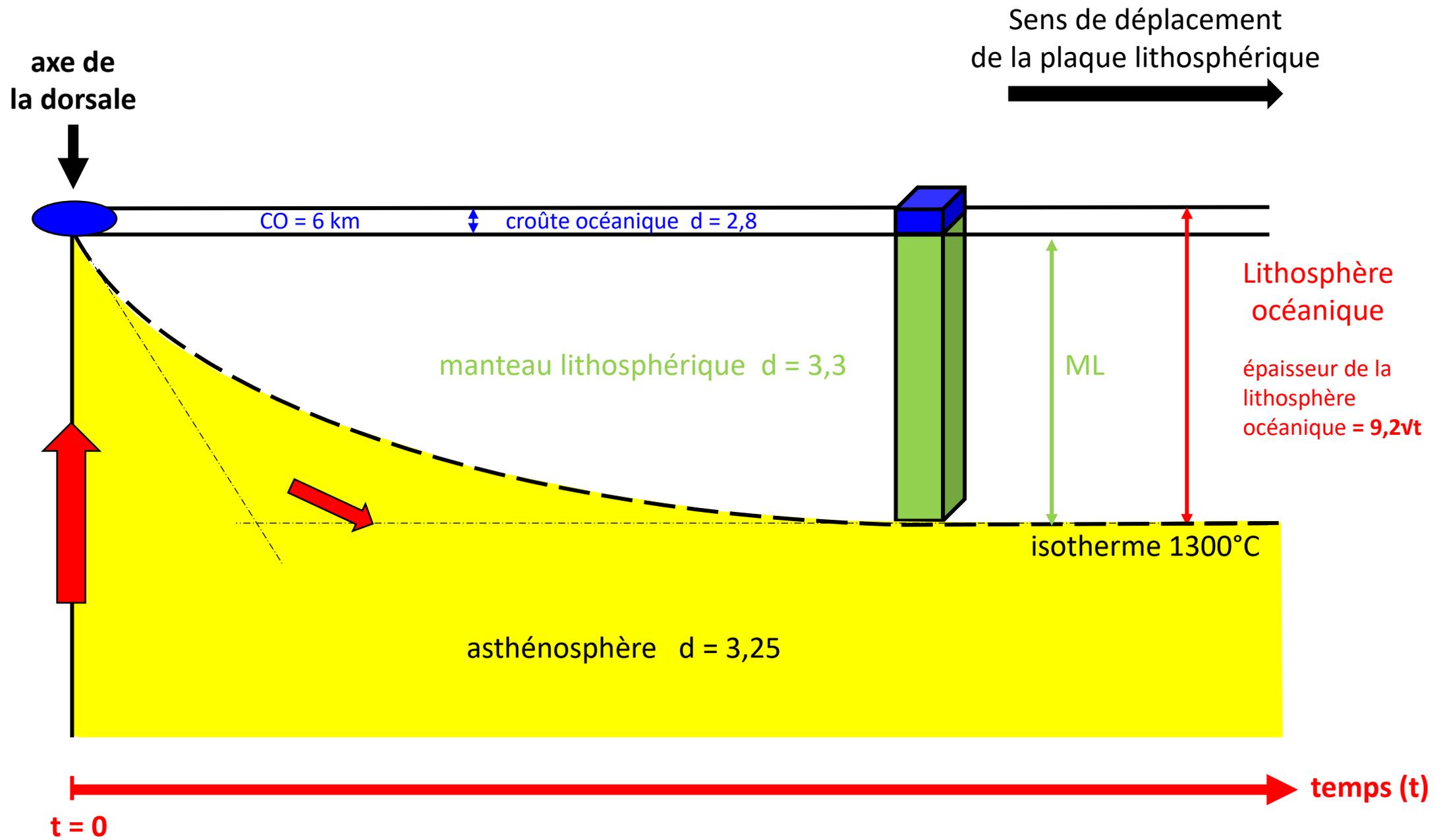
- 1- fusion partielle de l'asthénosphère**
- 2- injection rythmique de magmas peu évolués**
- 3- brassage par convection**
- 4- cristallisation fractionnée près des parois froides**
- 5- « sédimentation » de certains minéraux au fond de la chambre**
- 6- injection de magmas différenciés (ou non) au toit de la chambre**
- 7- épanchements basaltiques**



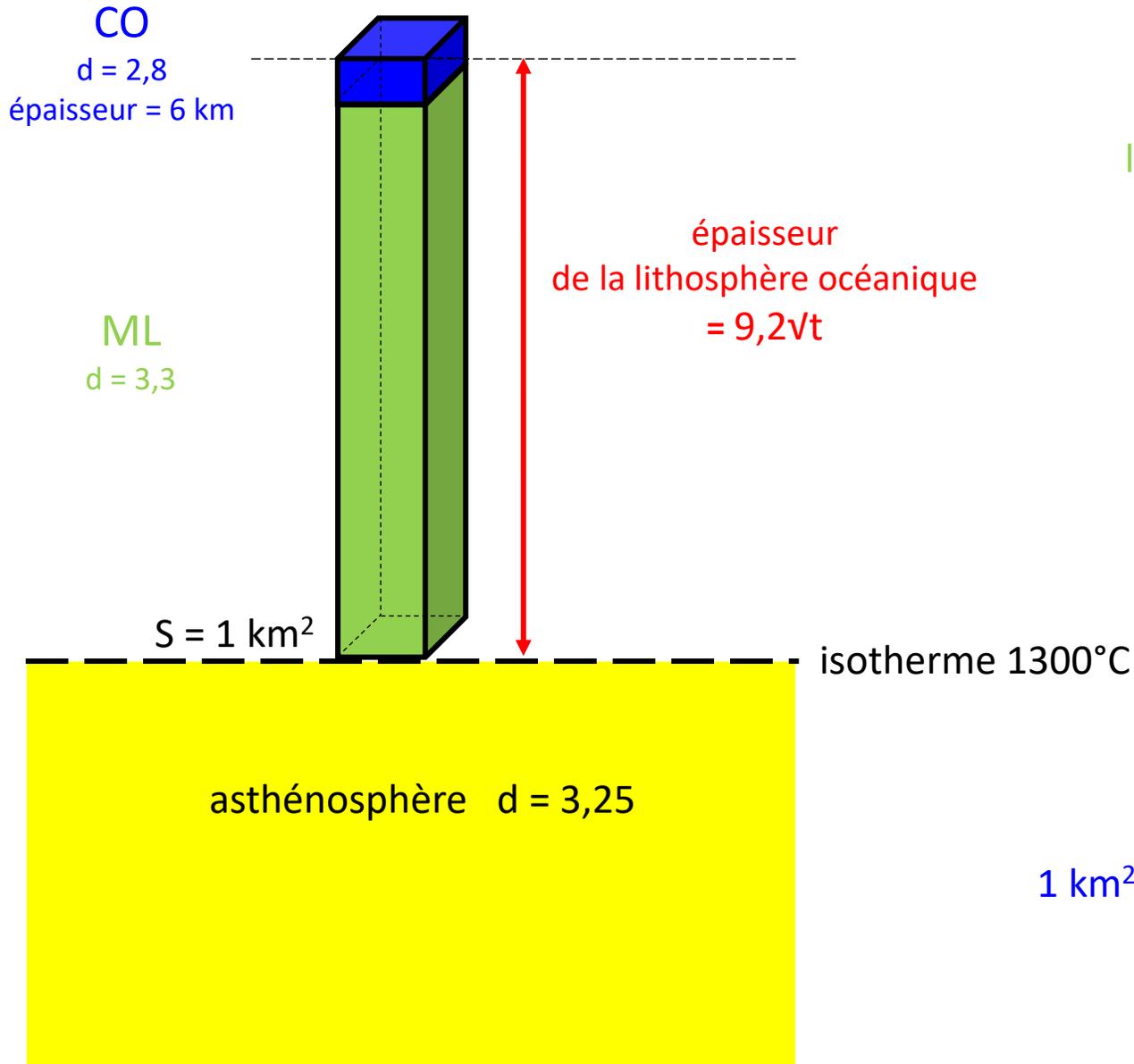
[animation 2](#)

C. Que devient la lithosphère océanique quand elle s'éloigne de la dorsale ?

(Aspects uniquement physiques)



Rappels : d (densité) = M (masse) / V (volume) et M (masse) = V (volume) . d (densité)



Ce que l'on va chercher :

d_{LO} (densité de la lithosphère océanique LO) =
(masse de la croûte océanique M_{CO} + masse du manteau
lithosphérique M_{ML}) / volume de la lithosphère océanique V_{LO}

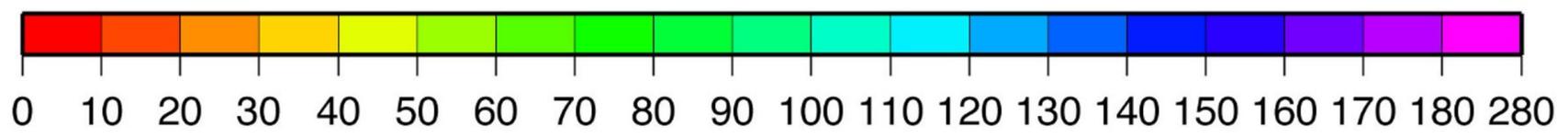
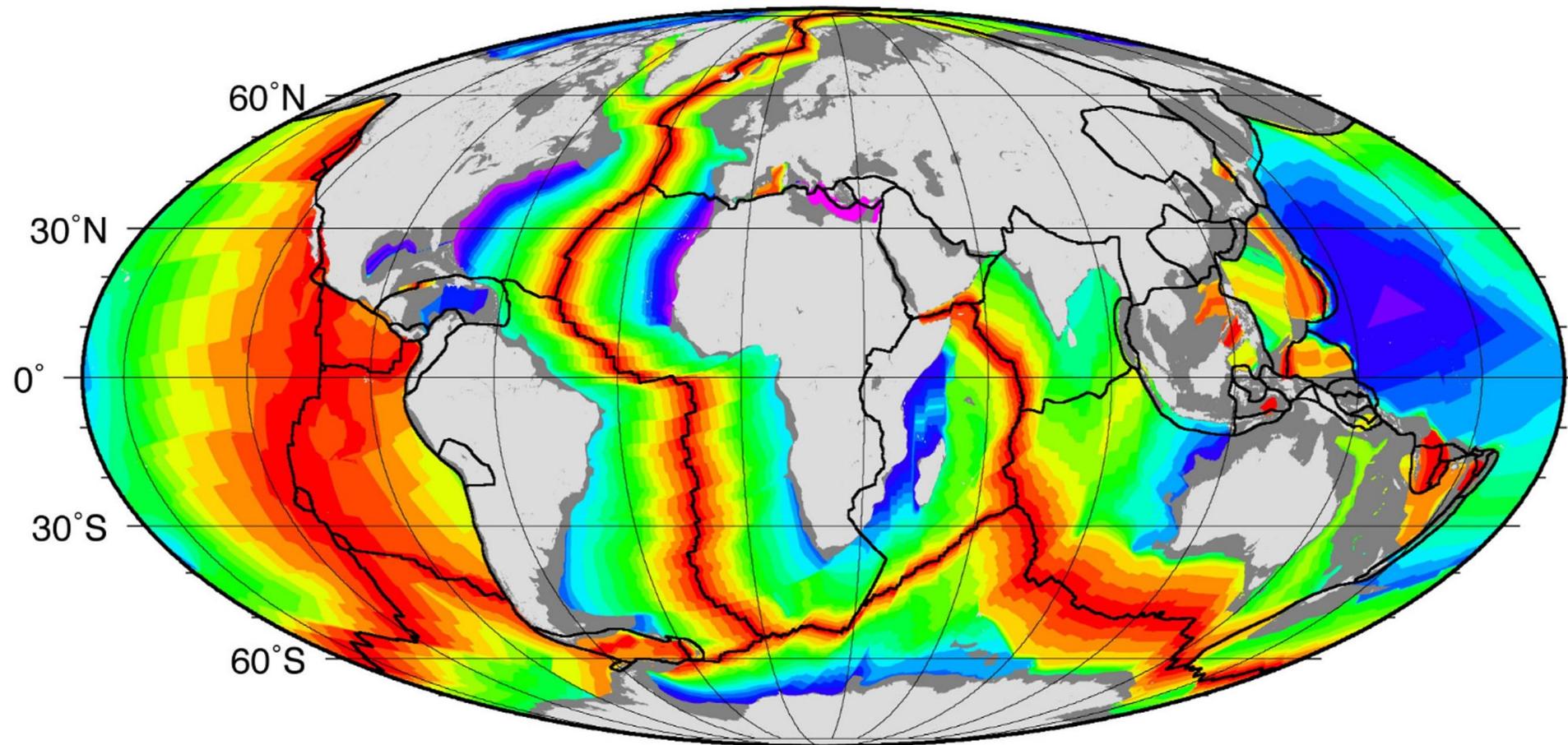
$$M_{CO} \text{ (masse de la croûte océanique CO)} \\ = 1 \text{ km}^2 \cdot 6 \text{ km} \cdot 2,8$$

$$M_{ML} \text{ (masse du manteau lithosphérique ML)} \\ = 1 \text{ km}^2 \cdot (9,2vt \text{ km} - 6 \text{ km}) \cdot 3,3$$

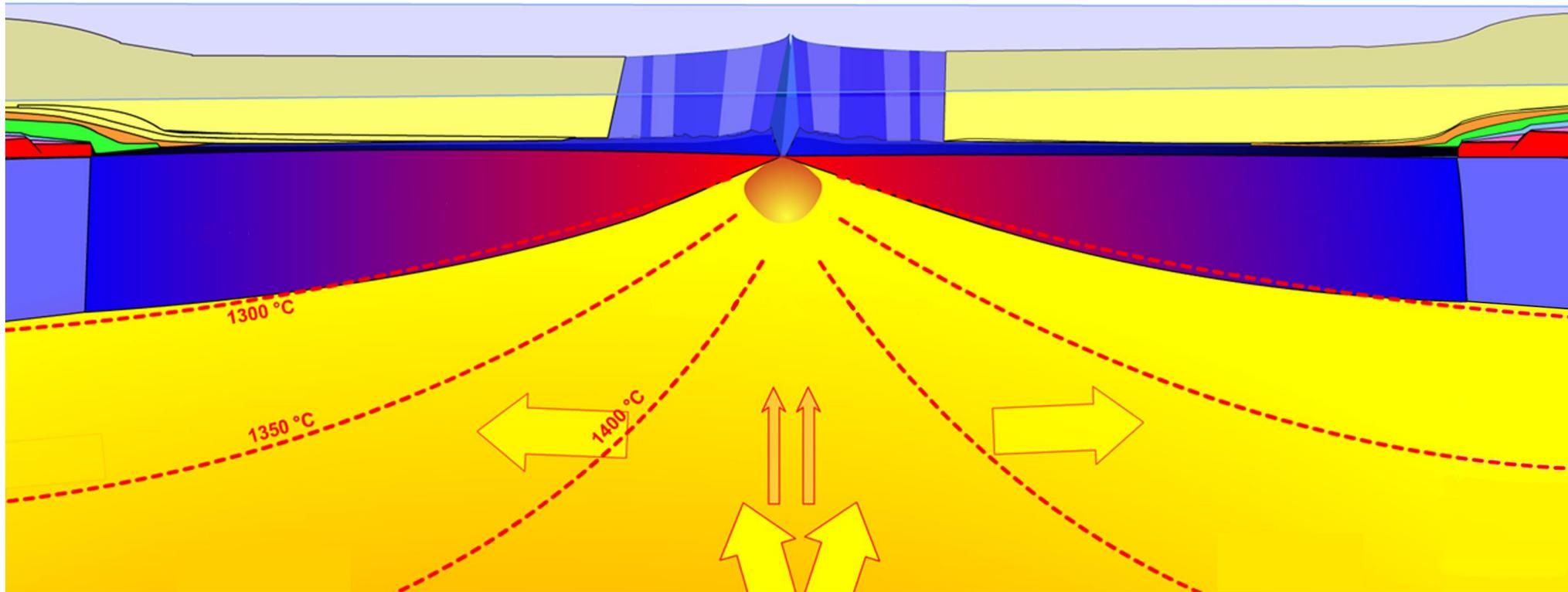
$$\text{volume de la lithosphère océanique } V_{LO} \\ = 1 \text{ km}^2 \cdot 9,2vt$$

$$d_{LO} \text{ (densité de la lithosphère océanique LO)} = \\ 1 \text{ km}^2 \cdot 6 \text{ km} \cdot 2,8 + 1 \text{ km}^2 \cdot (9,2vt \text{ km} - 6 \text{ km}) \cdot 3,3 / 1 \text{ km}^2 \cdot 9,2vt$$

[Lien vers page de calculs](#)



Age of Oceanic Lithosphere [m.y.]



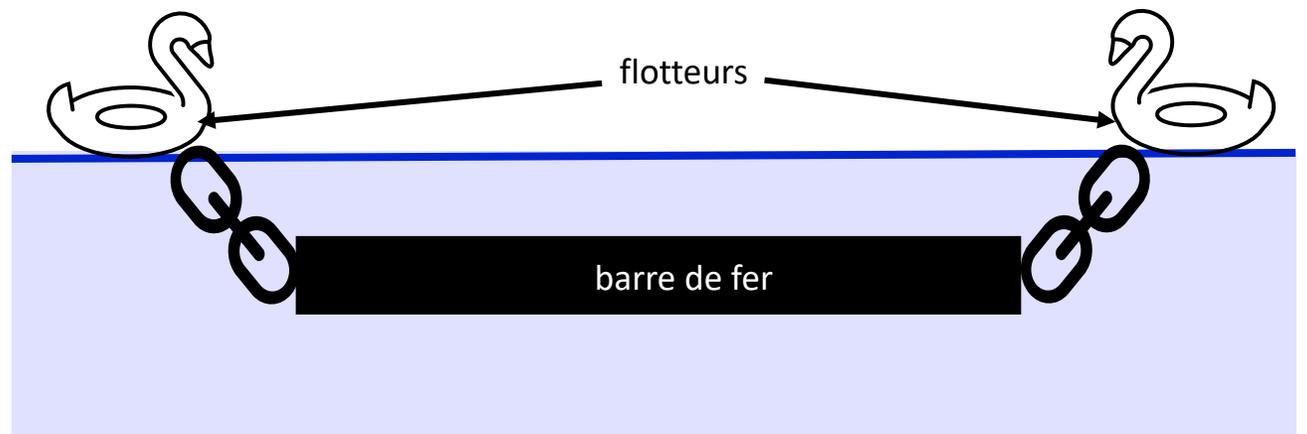
dorsale :
lithosphère chaude
donc légère

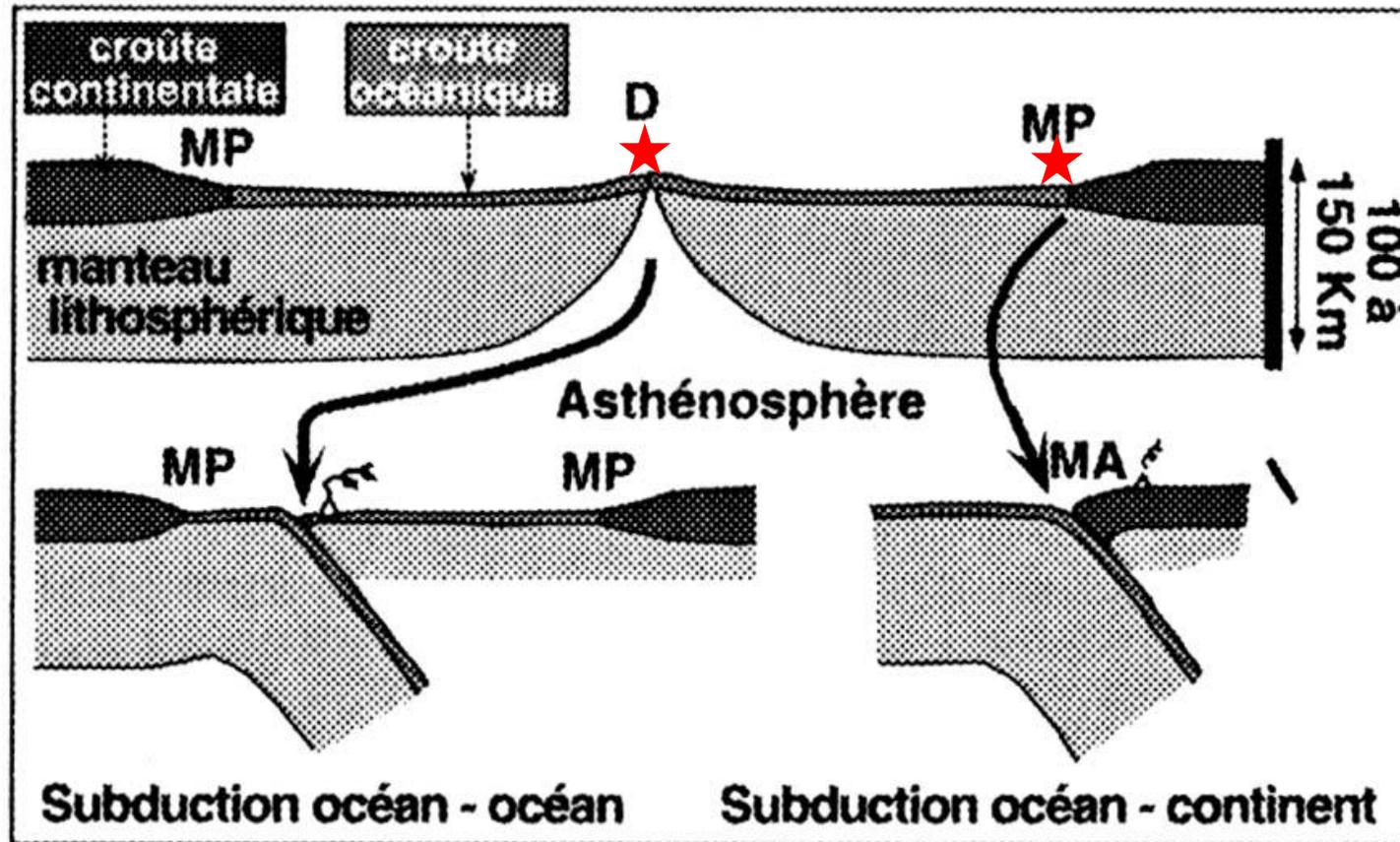
continent

$d = 3$

$d = 3,3$

$d = 2,7$





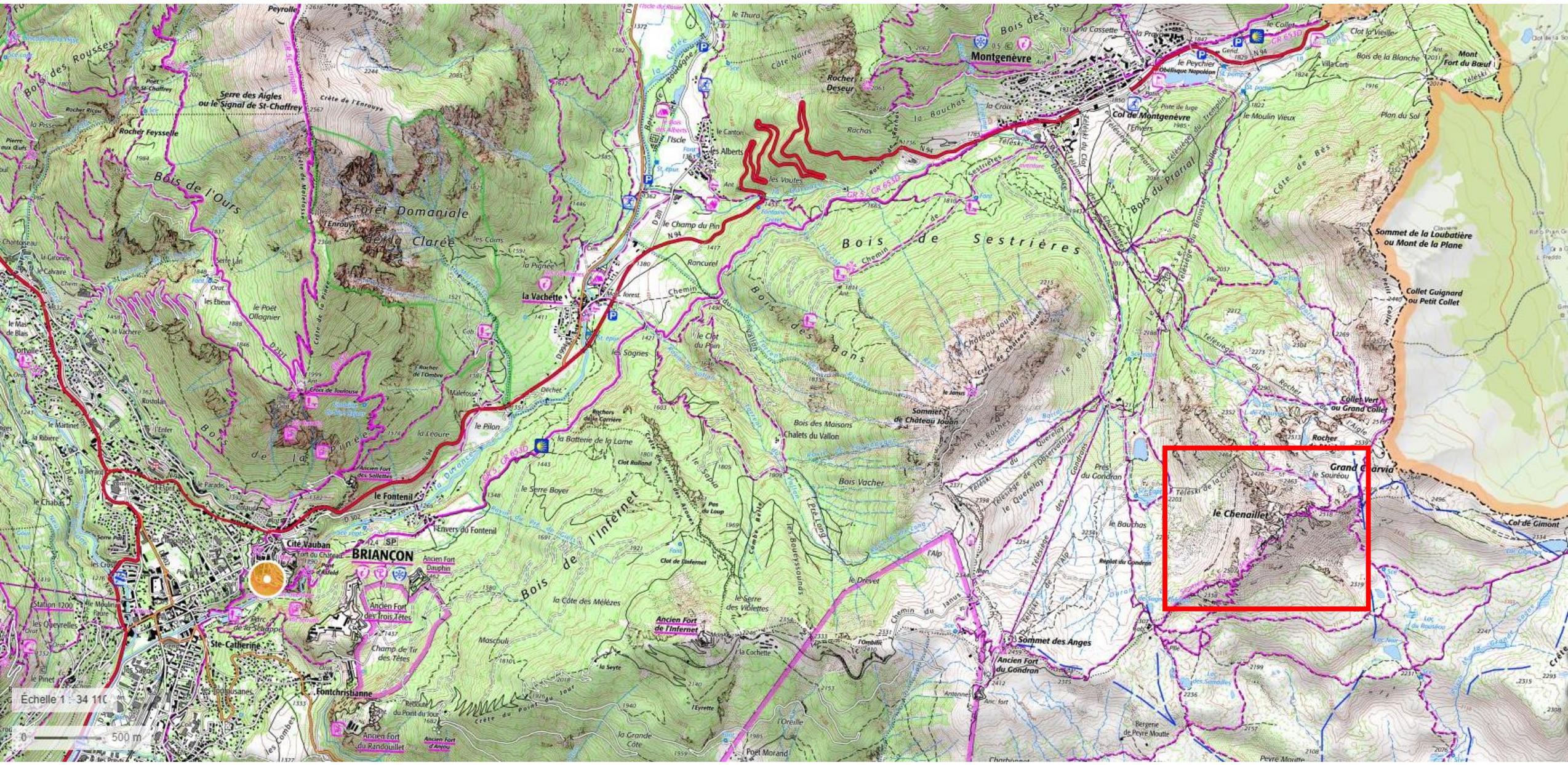
Extrait de « De l'océan à la chaîne de montagnes -
Tectonique des plaques dans les Alpes »
de Marcel Lemoine, Pierre-Charles de Graciansky et Pierre Tricart

| | | |
|----|------------------|-----------------------------|
| 1 | PACIFIQUE | 10 cm/an vers le Nord-Ouest |
| 2 | EURASIE | 1 cm/an vers l'Est |
| 3 | AFRIQUE | Tourne sur elle-meme |
| 4 | ANTARCTIQUE | Tourne sur elle-meme |
| 5 | INDE-AUSTRALIE | 7 cm/an vers le Nord |
| 6 | AMERIQUE DU NORD | 1 cm/an vers l'Ouest |
| 7 | AMERIQUE DU SUD | 1 cm/an vers le Nord |
| 8 | NAZCA | 7 cm/an vers l'Est |
| 9 | PHILIPPINE | 8 cm/an vers l'Ouest |
| 10 | ARABIE | 3 cm/an vers le Nord-Est |
| 11 | COCO | 5 cm/an vers le Nord-Est |
| 12 | CARAIBE | 1 cm/an vers le Nord-Est |



C. Recherche d'indices de subduction dans les Alpes

Les roches du Chenaillet



Echelle 1 : 34 110

0 500 m

2650 m

















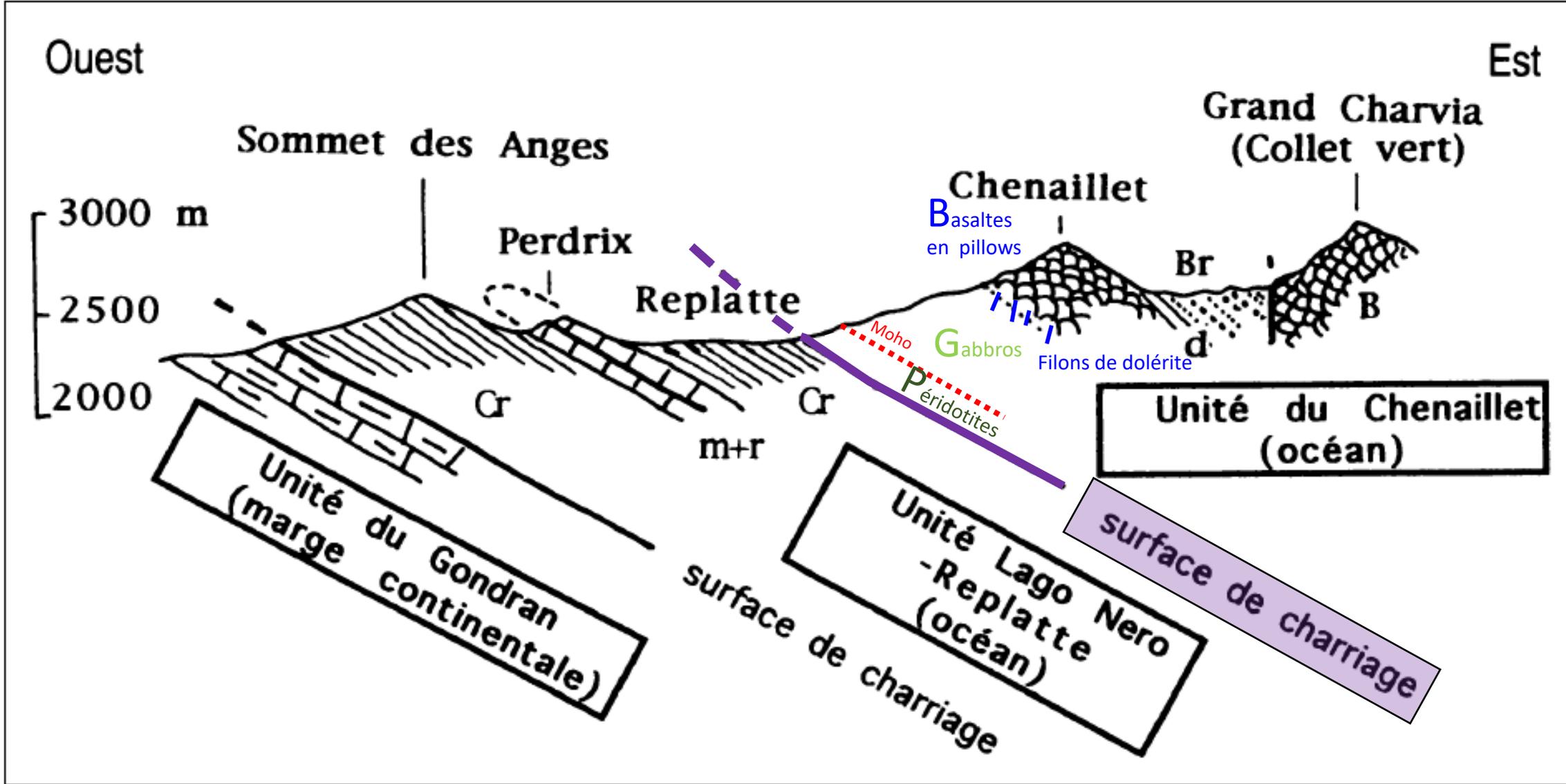


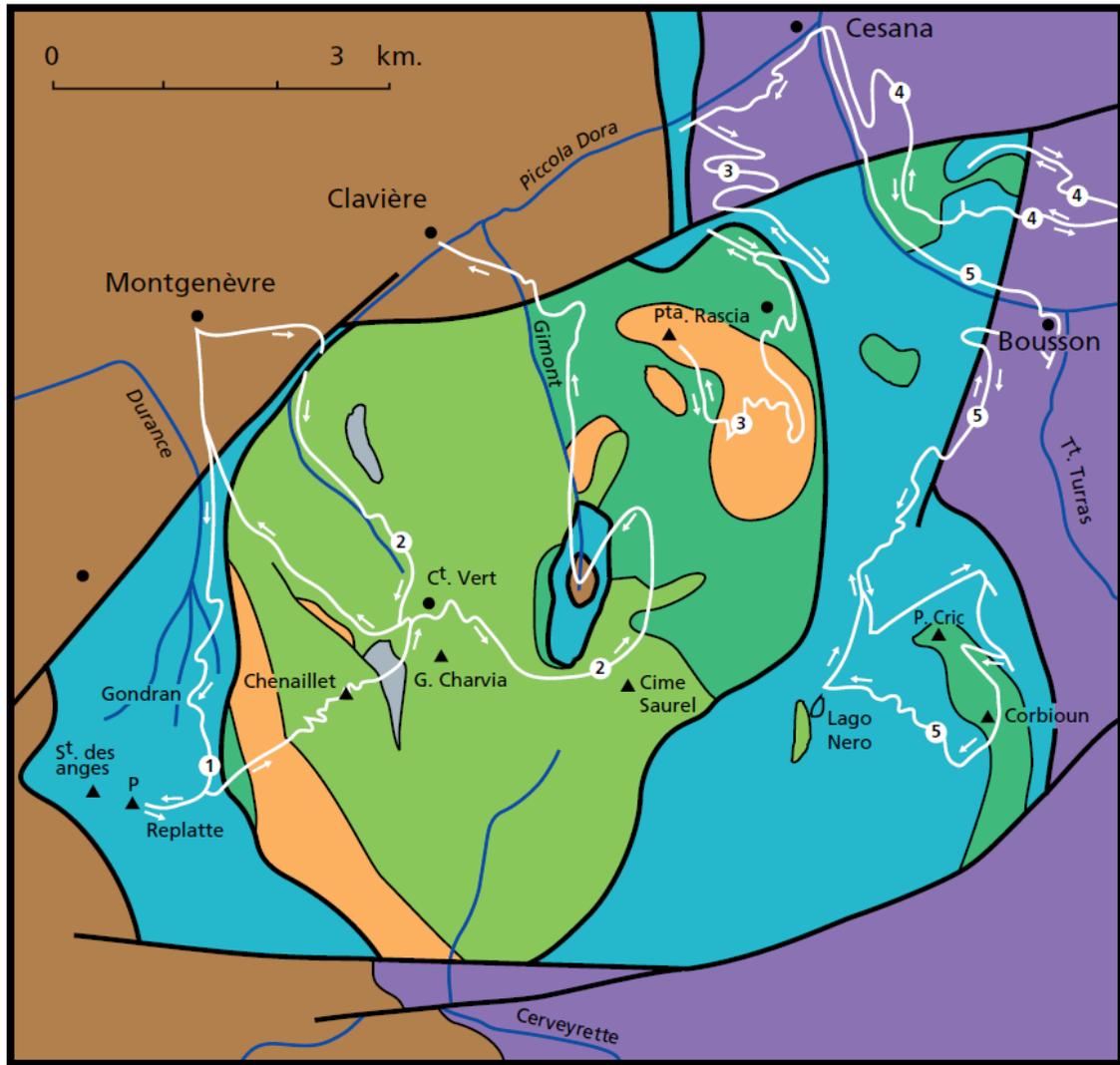
« *Moho* » : limite entre les roches du
manteau supérieur et de la croûte océanique.

« *Moho* » : limite tra le rocce del mantello
superiore e la crosta oceanica









CHENAILLET

-  Ophicalcites
OC2
-  Basaltes
-  Gabbros
-  Serpentinites

L. N. REPLATTE

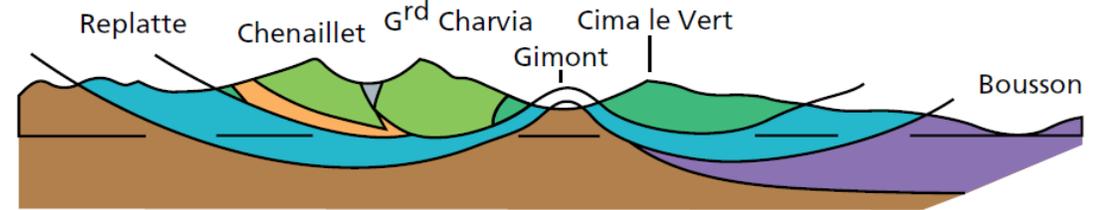
-  Sédiments
océaniques
-  Serpentinites

L. DES CORDES

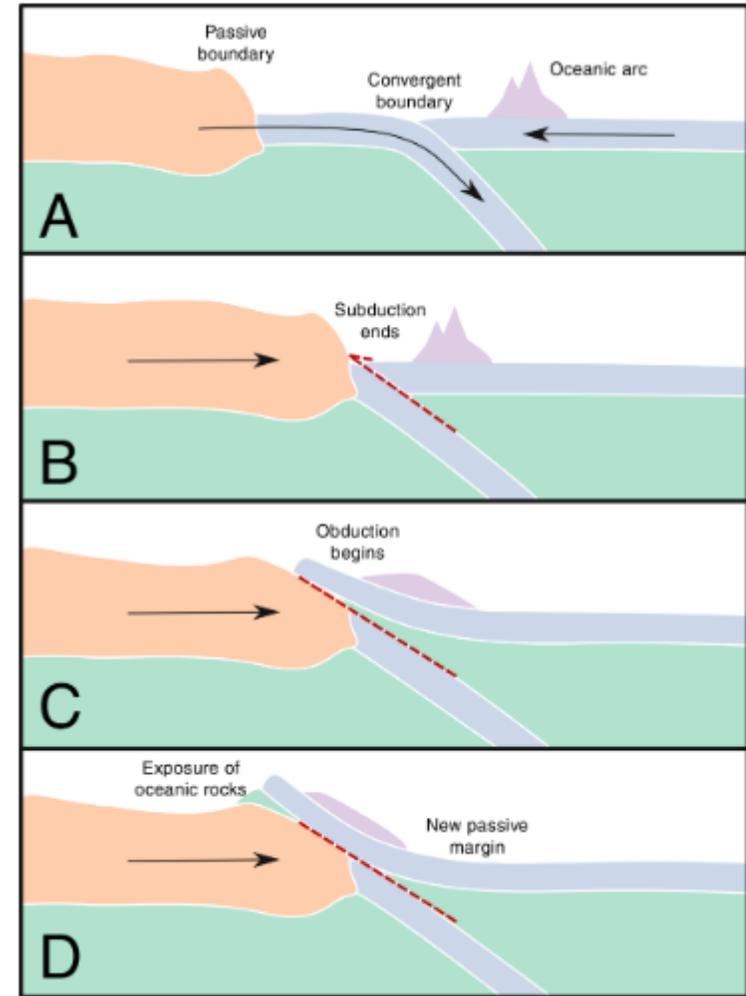
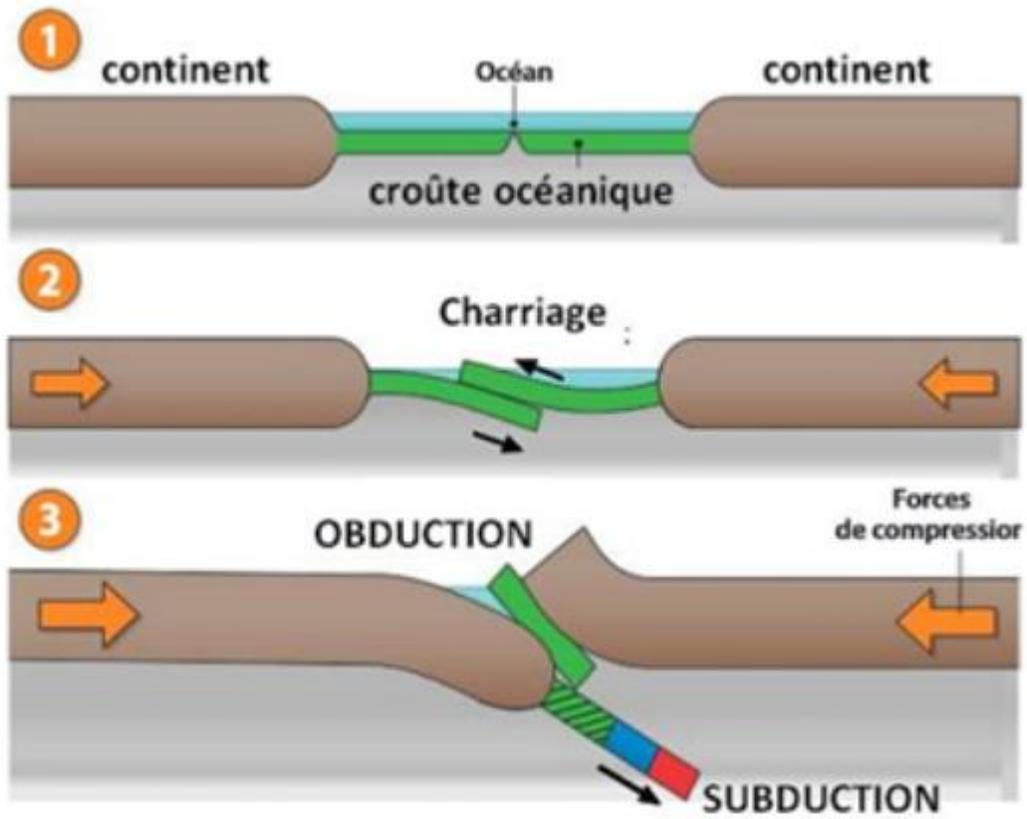
-  Calcschistes
(Crétacé)

PIÉMONTAIS (M. Continentale)

-  Trias-Jurassique



Carte et coupe géologique du Massif du Chenaillet (Marcel Lemoine)

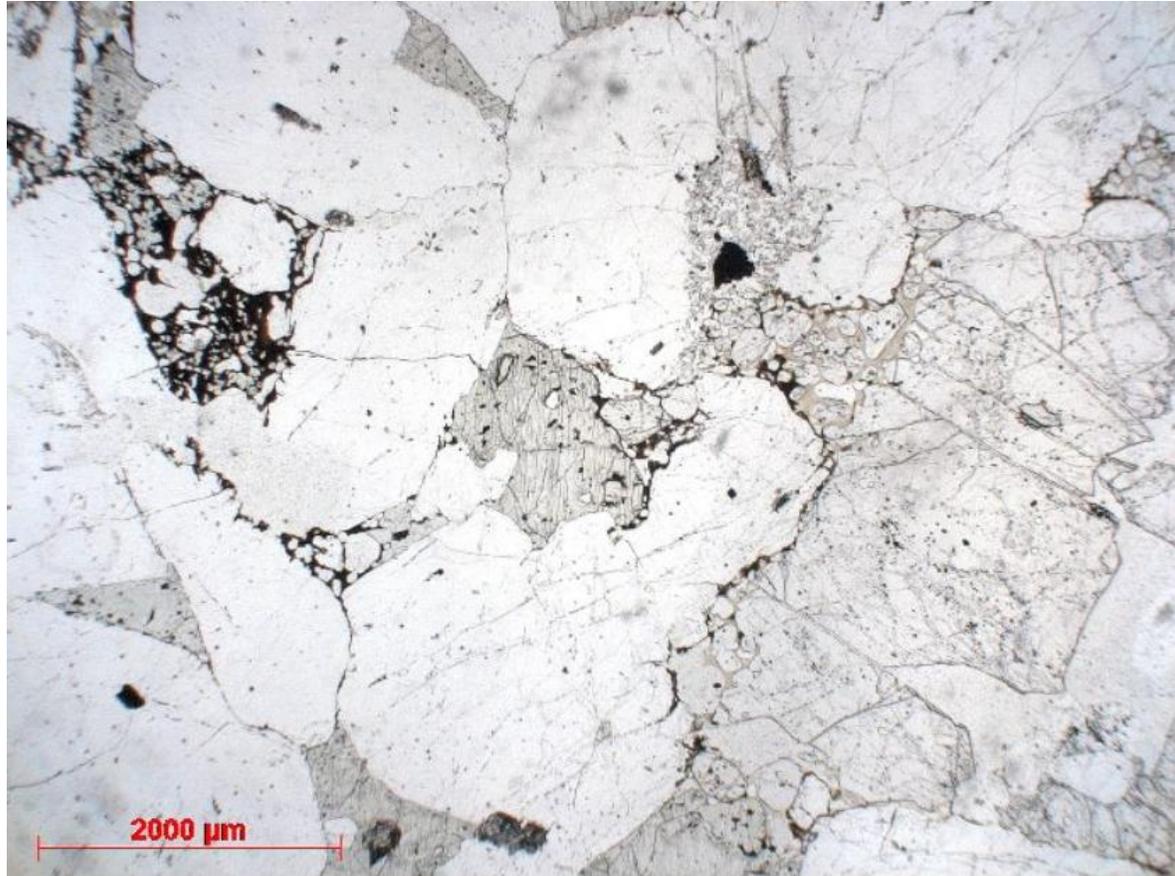


Illustrations simplistes du mécanisme de l'obduction

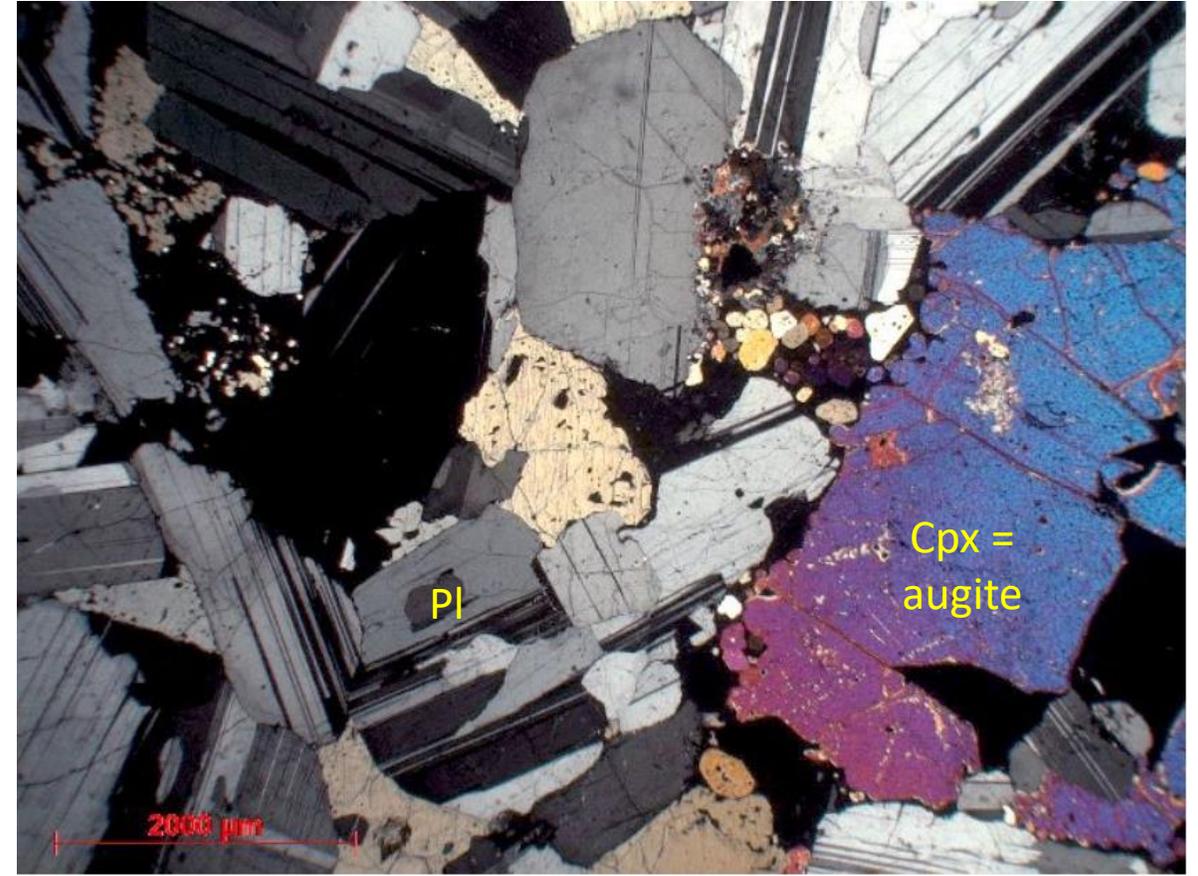
Roche Chenaillet PGa₁

**Gabbro à peu près « normal »
du Chenaillet**



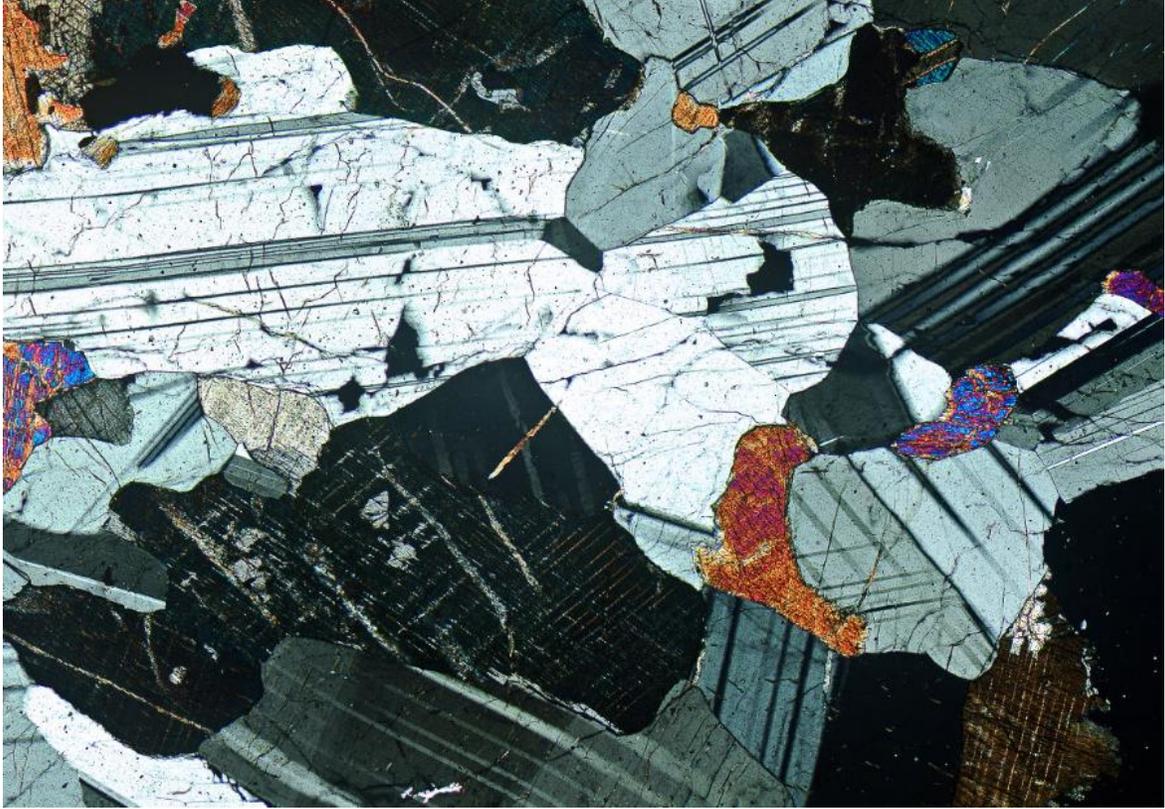


Photographie : Damien Mollex



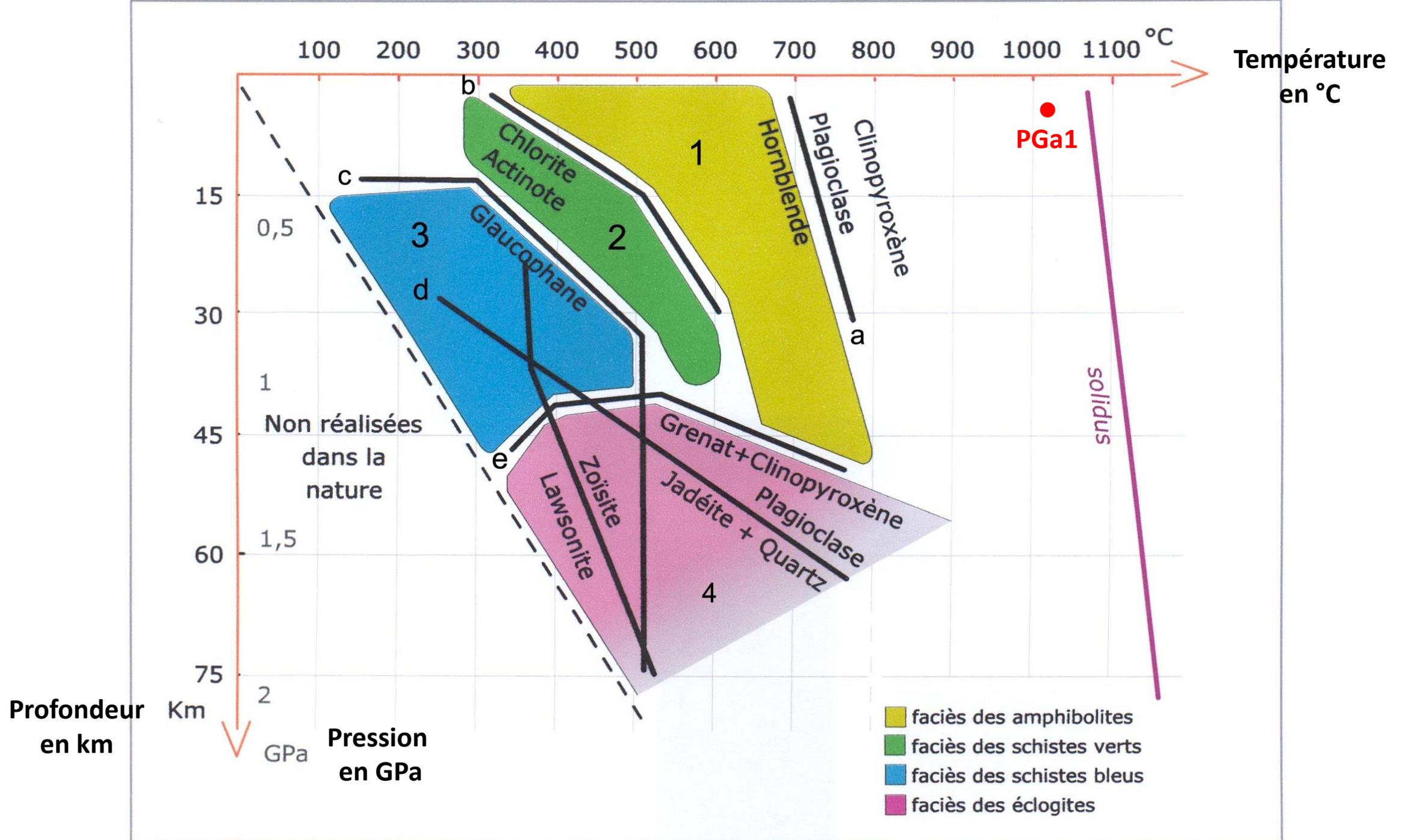
Photographie : Damien Mollex

**Lame mince de gabbro
en lumière naturelle à gauche et en LPA à droite**



Document 1 – Tableau récapitulatif des minéraux constitutifs de ces roches

| Echantillons de roches | PGa ₁ | MGa ₁ | MGa ₂ | MGa ₃ | ME ₁ |
|------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-----------------|
| Minéraux | | | | | |
| Cpx/Px | + | | | | |
| Pl | + | | | | |
| Hb | | | | | |
| Chl | | | | | |
| Act | | | | | |
| Glc | | | | | |
| Ep | | | | | |
| Q | | | | | |
| Ja | | | | | |
| Gt | | | | | |



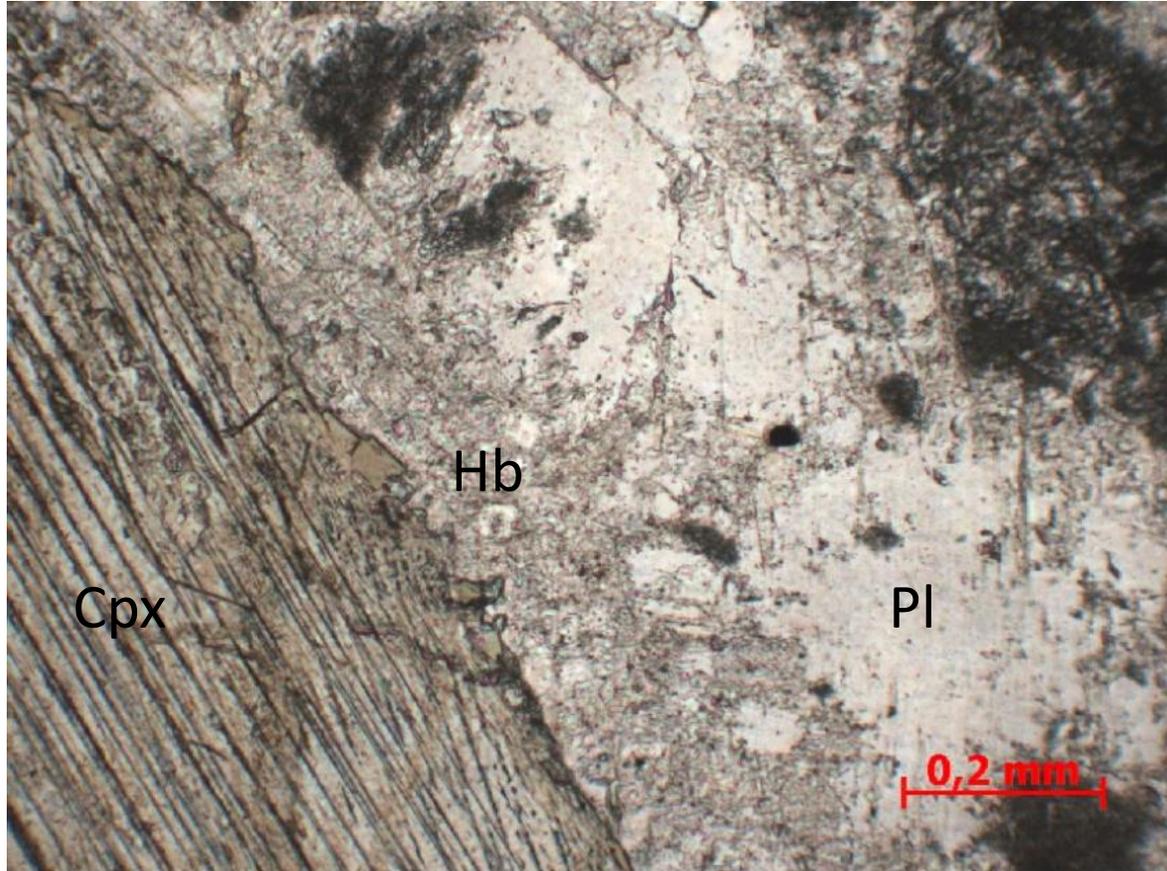
Roche Chenaillet MGa₁

**Gabbro à clinopyroxène
auréolé de hornblende**

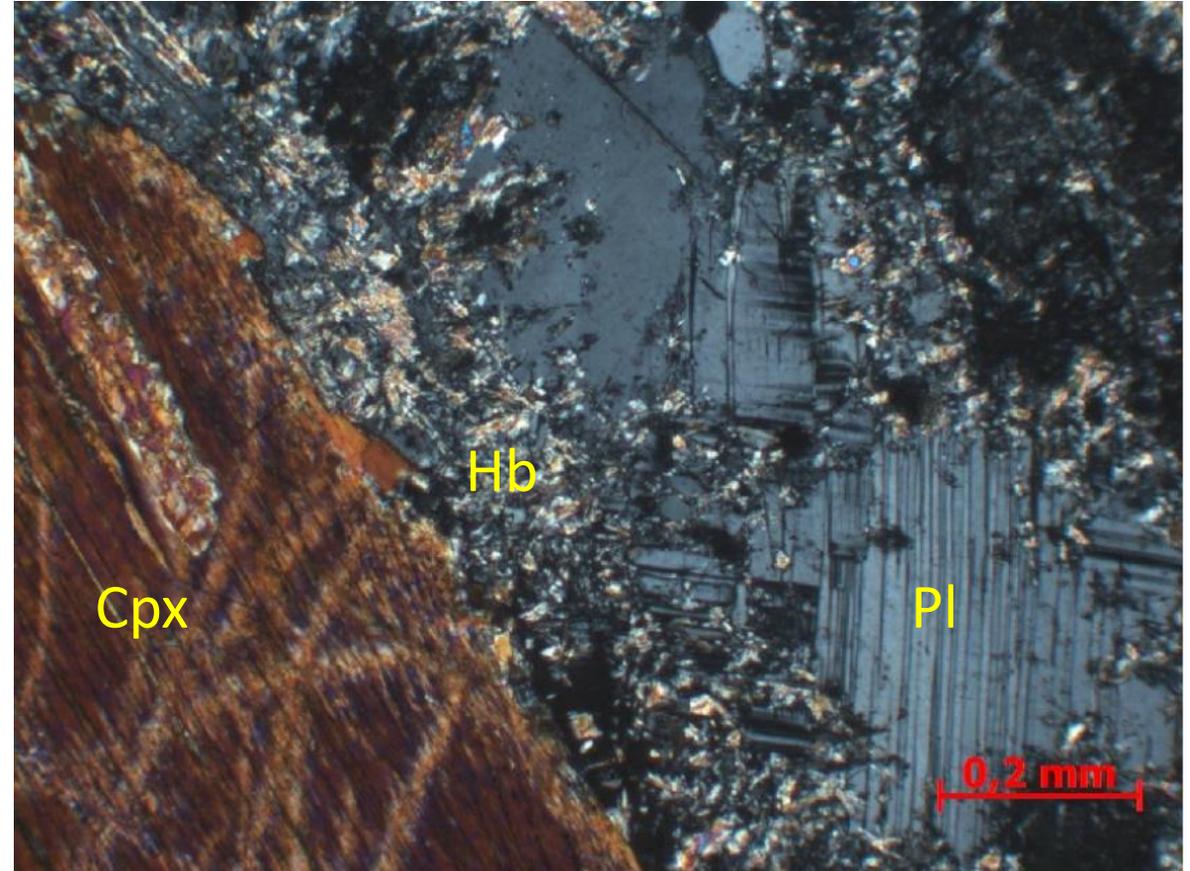


**Gabbro à clinopyroxène
auréolé de hornblende**



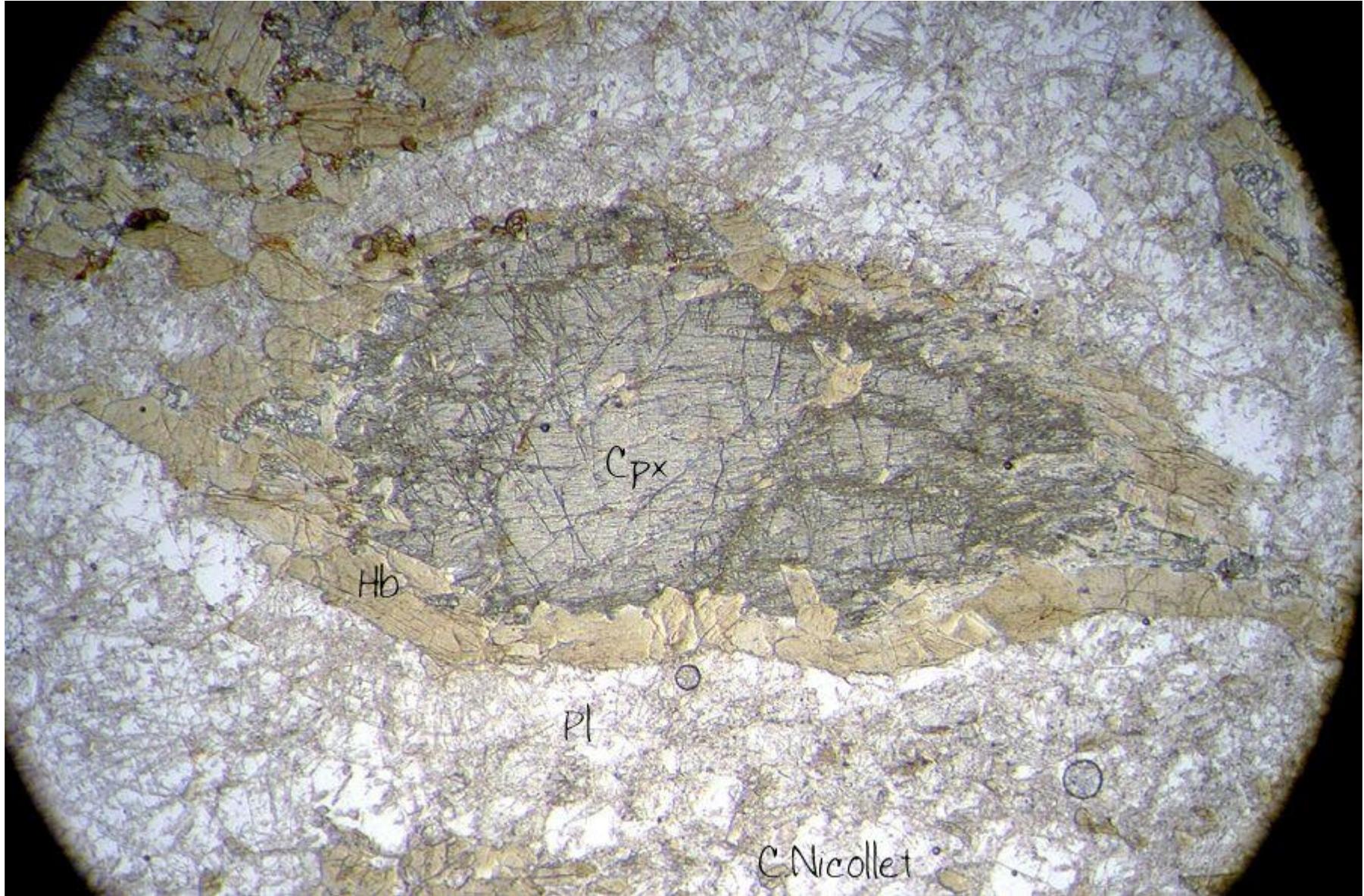


Photographie : Damien Mollex



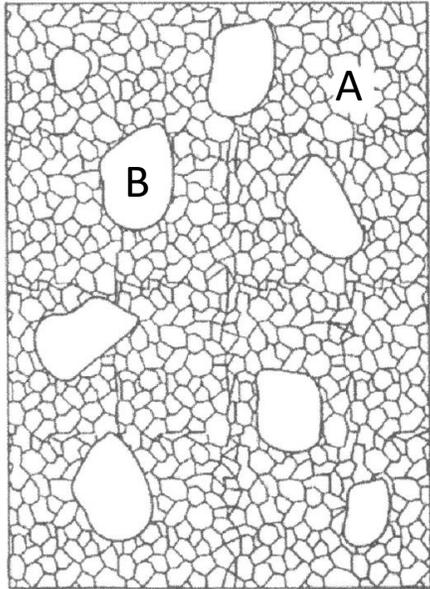
Photographie : Damien Mollex

Lame mince de métagabbro à hornblende : en lumière naturelle à gauche et en LPA à droite

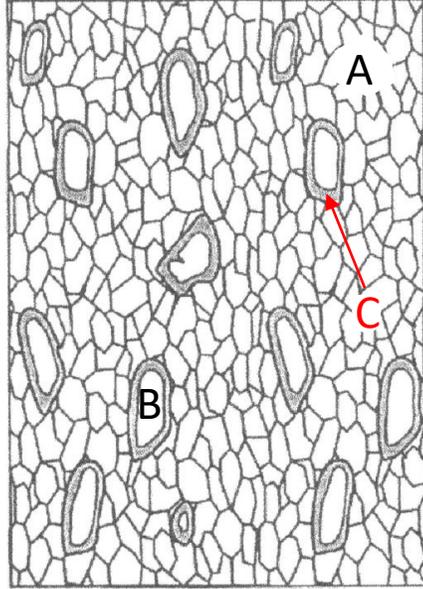


Document 1 – Tableau récapitulatif des minéraux constitutifs de ces roches

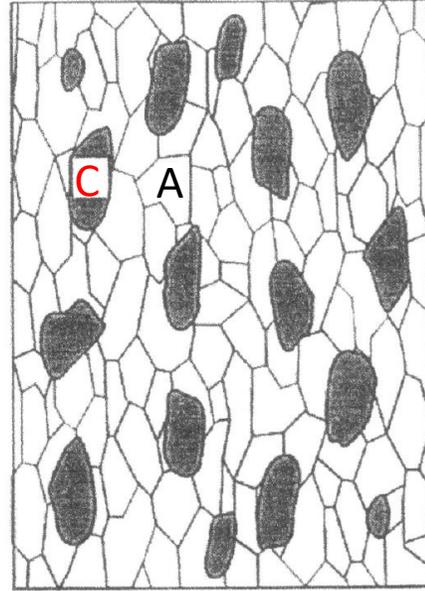
| Echantillons de roches | | | | | |
|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|-----------------------|
| Minéraux | PGa₁ | MGa₁ | MGa₂ | MGa₃ | ME₁ |
| Cpx/Px | + | + | | | |
| Pl | + | + | | | |
| Hb | | + | | | |
| Chl | | | | | |
| Act | | | | | |
| Glc | | | | | |
| Ep | | | | | |
| Q | | | | | |
| Ja | | | | | |
| Gt | | | | | |



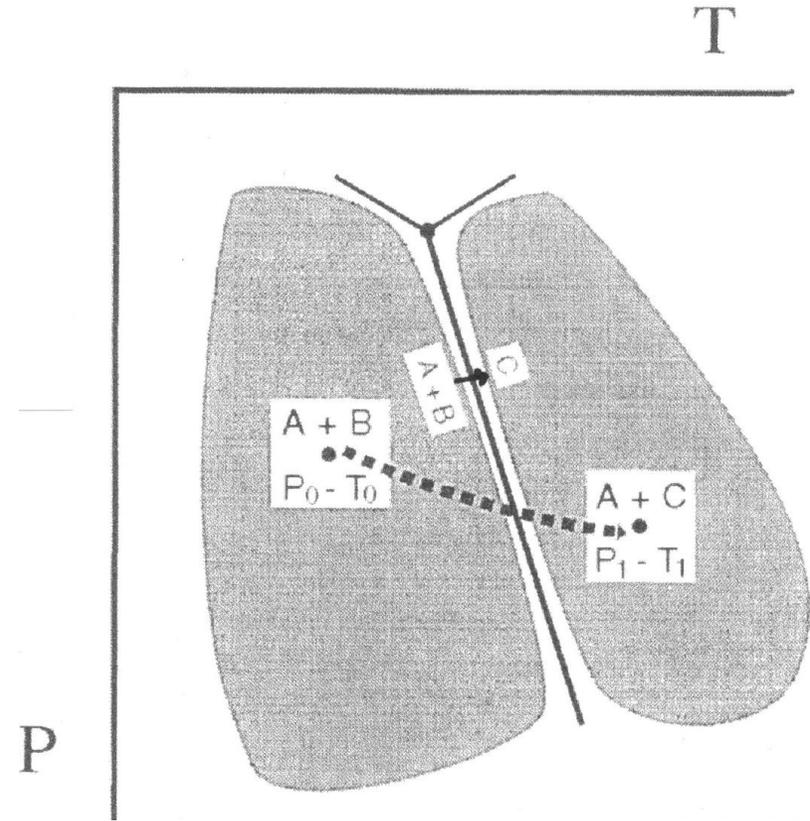
A $P_0 - T_0$ la roche
contient les minéraux
A + B.



A $P_1 - T_1$ la réaction
A + B = C intervient...

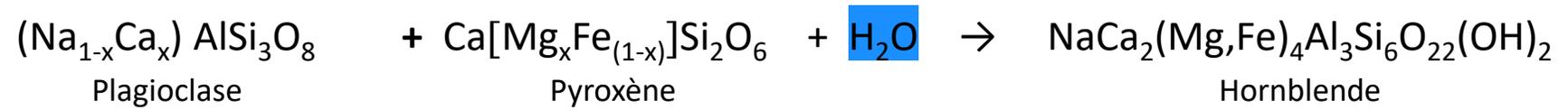
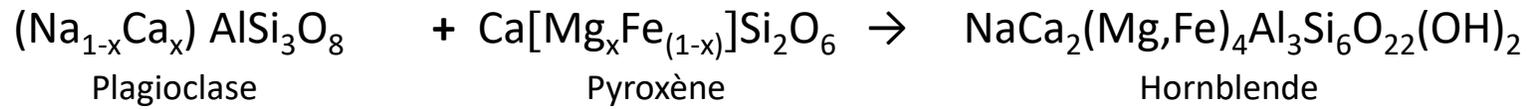


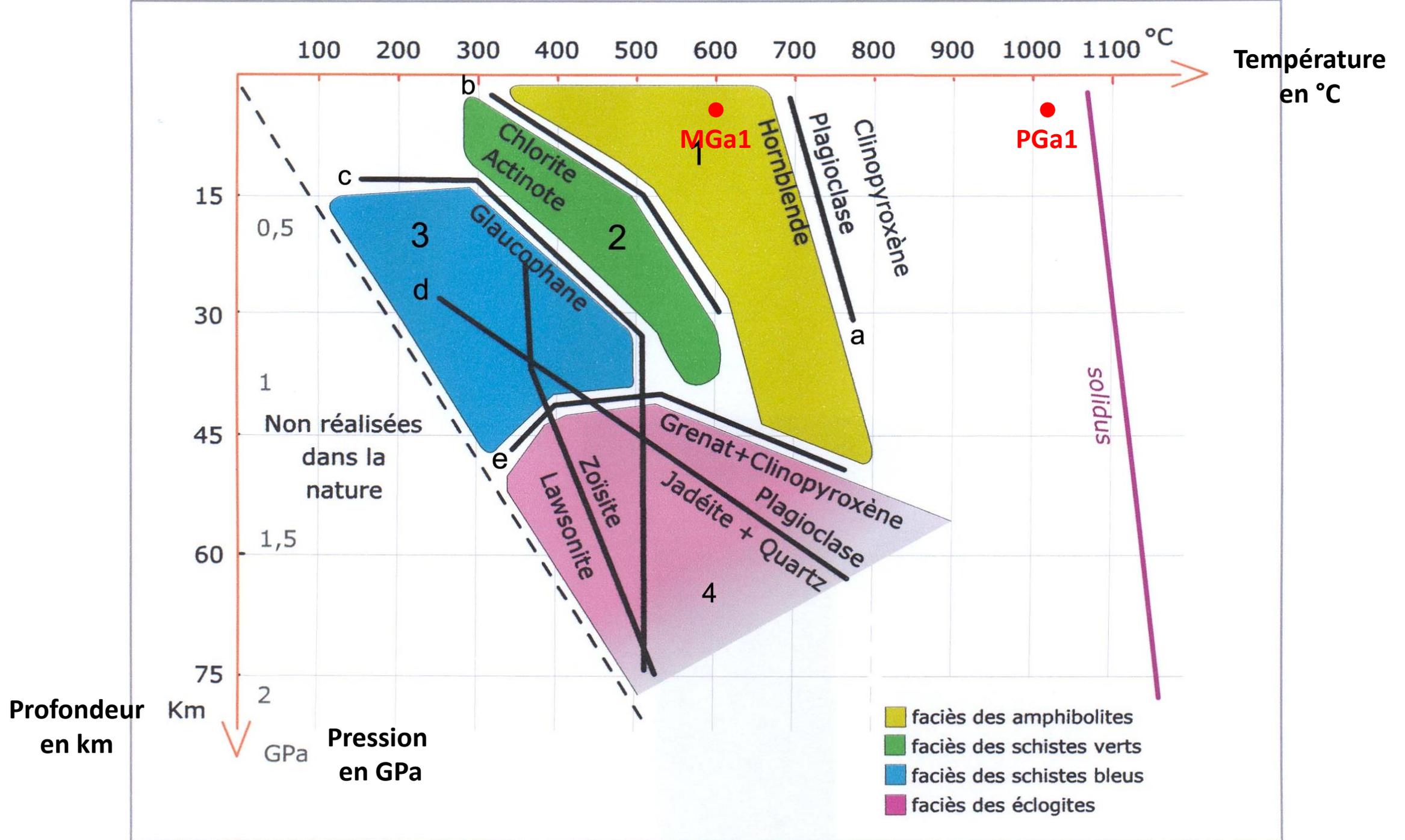
... jusqu'à disparition
de B.



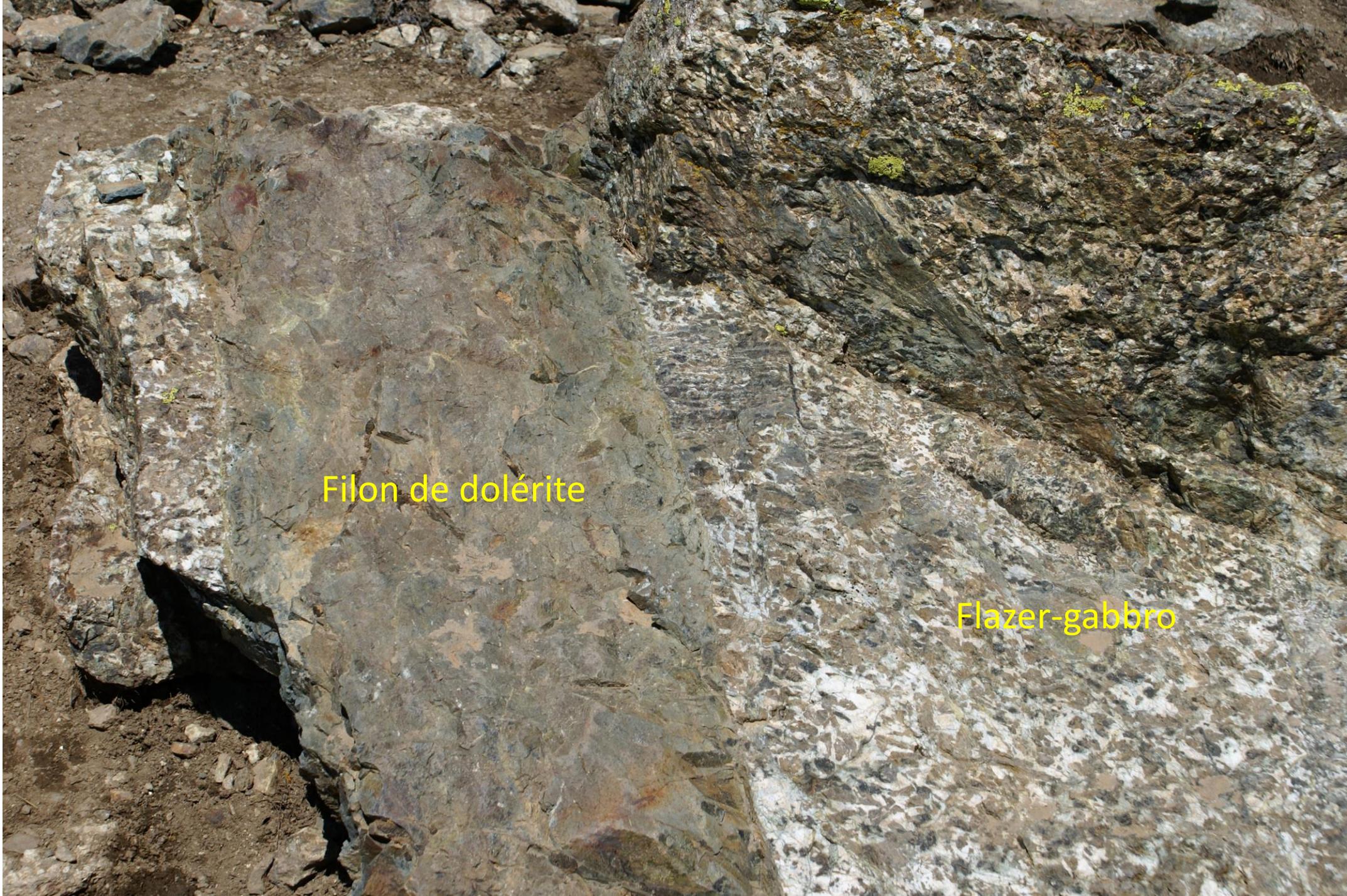
assemblage A + C si la transformation est totale
mais

assemblage A+B+C si la transformation est partielle.





**Filon de dolérite
dans
un « flazer-gabbro »
= métagabbro à
hornblende
tectonisé**



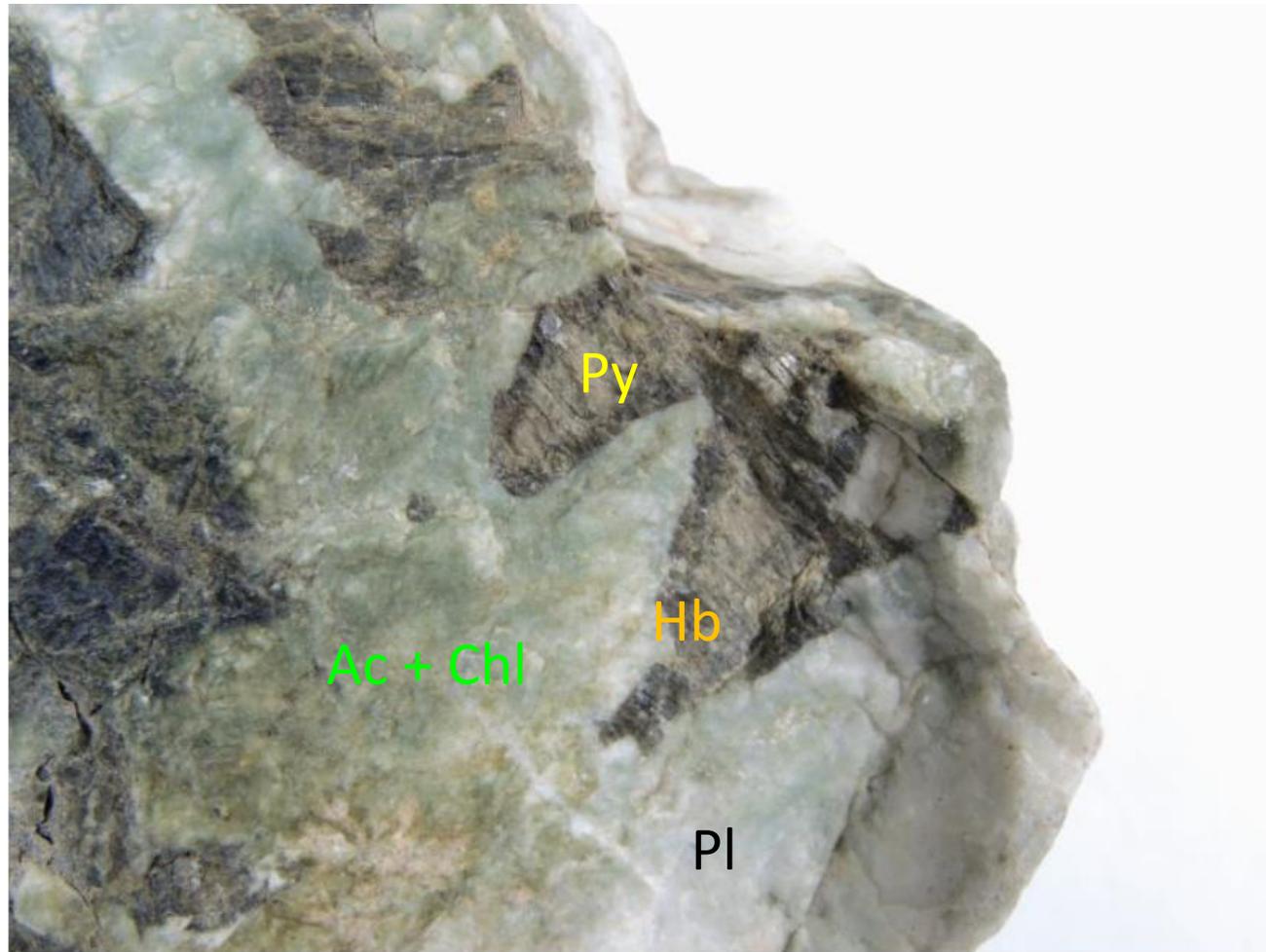
Filon de dolérite

Flazer-gabbro

Roche Chenaillet MGa₂

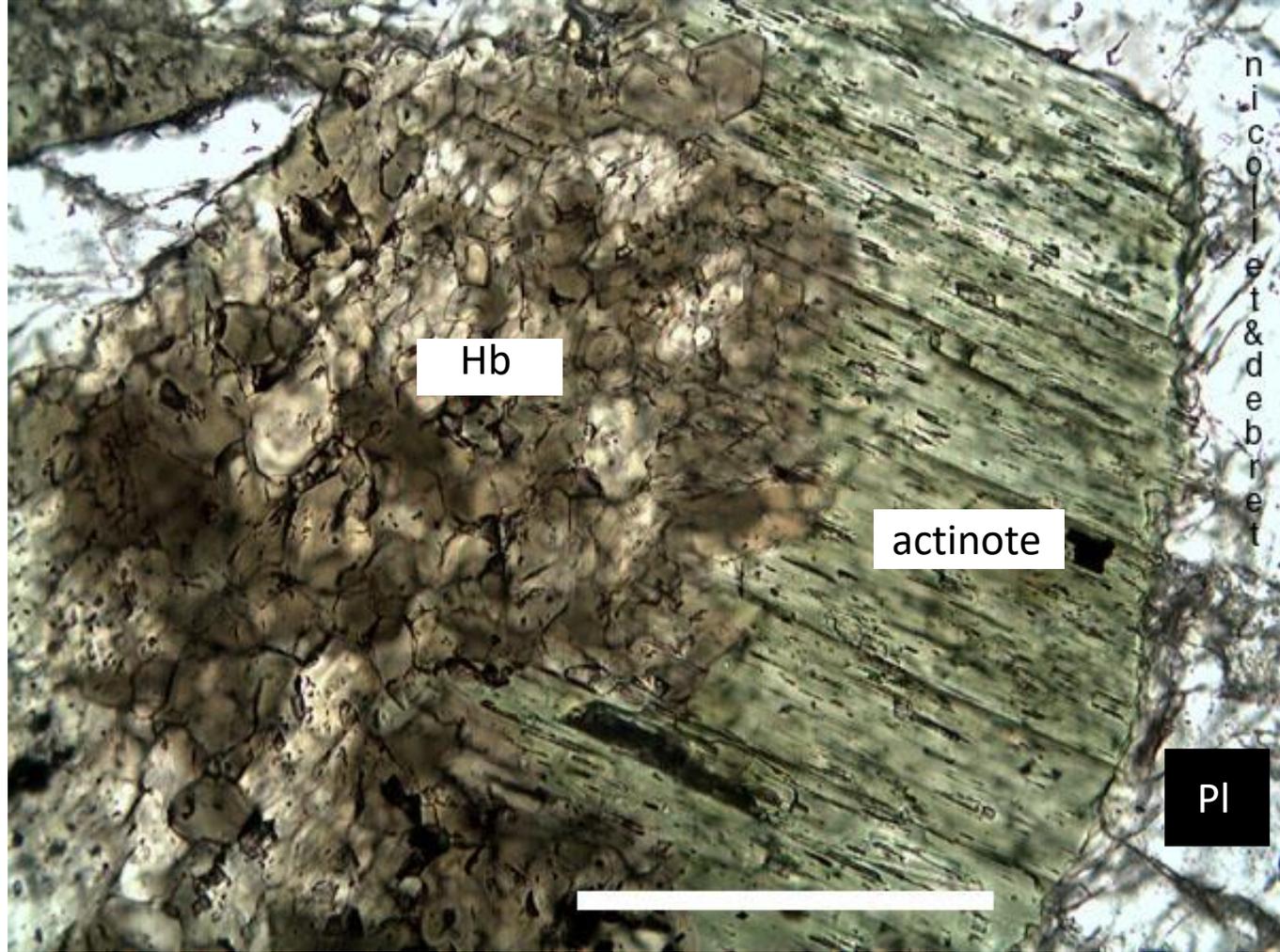


AVG



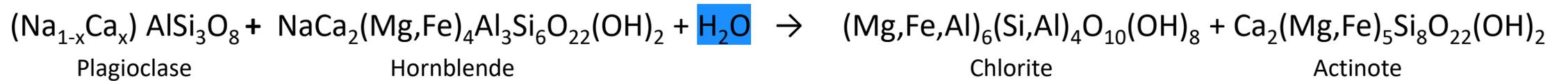
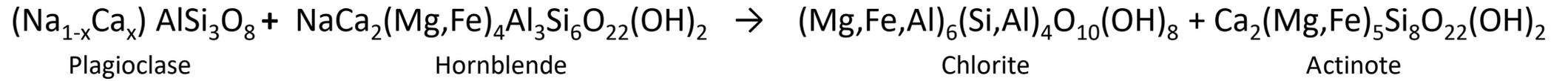
Photographie : Fanny Magot

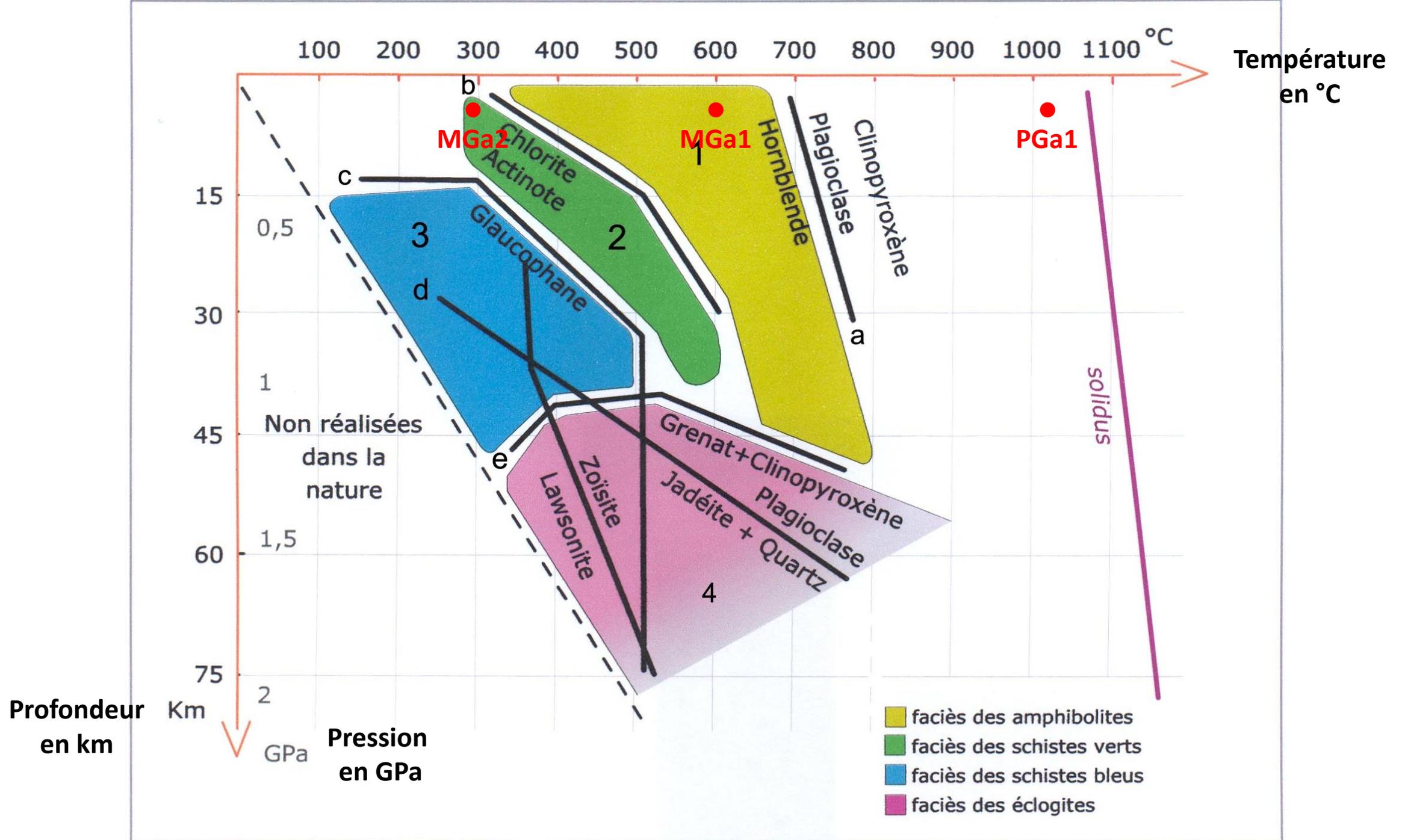
Métagabbro à chlorite et actinote
(il y a aussi présence d'épidote)



Document 1 – Tableau récapitulatif des minéraux constitutifs de ces roches

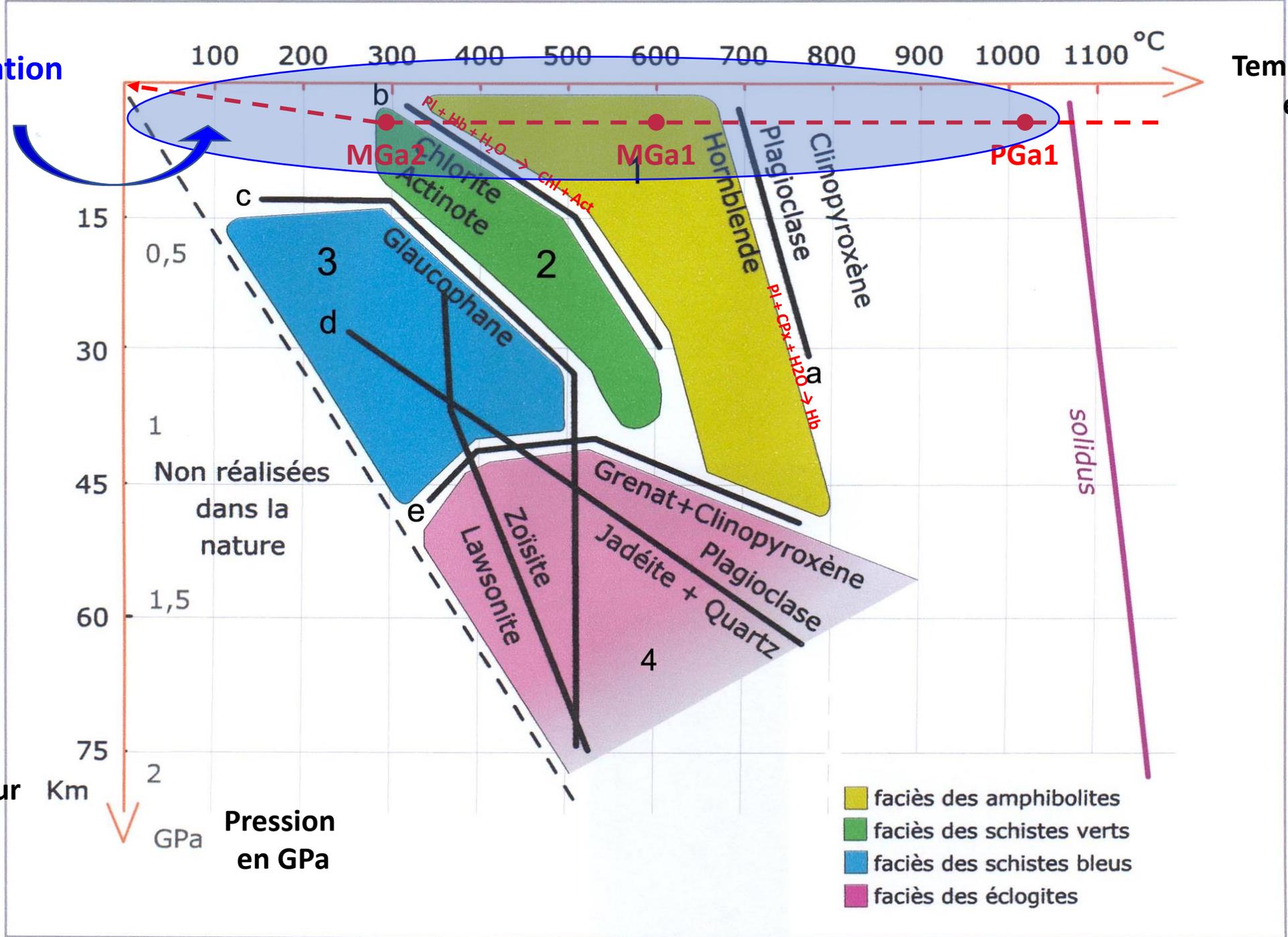
| Echantillons de roches | | | | | |
|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|-----------------------|
| Minéraux | PGa₁ | MGa₁ | MGa₂ | MGa₃ | ME₁ |
| Cpx/Px | + | + | + | | |
| Pl | + | + | + | | |
| Hb | | + | + | | |
| Chl | | | + | | |
| Act | | | + | | |
| Glc | | | | | |
| Ep | | | + | | |
| Q | | | | | |
| Ja | | | | | |
| Gt | | | | | |





Consommation
d'eau

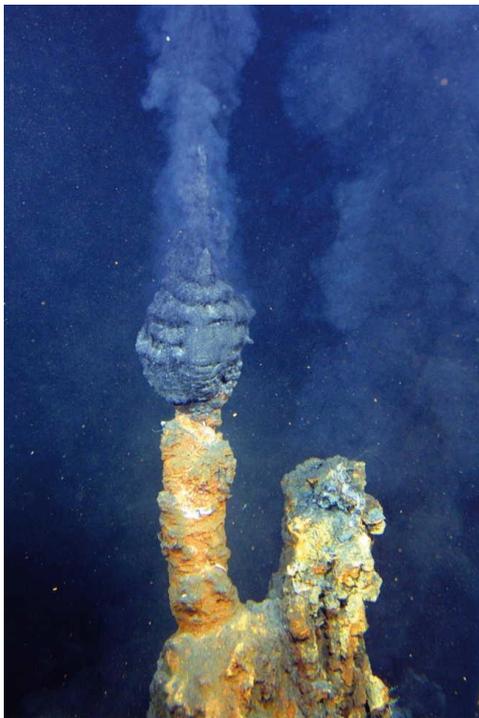
Température
en °C



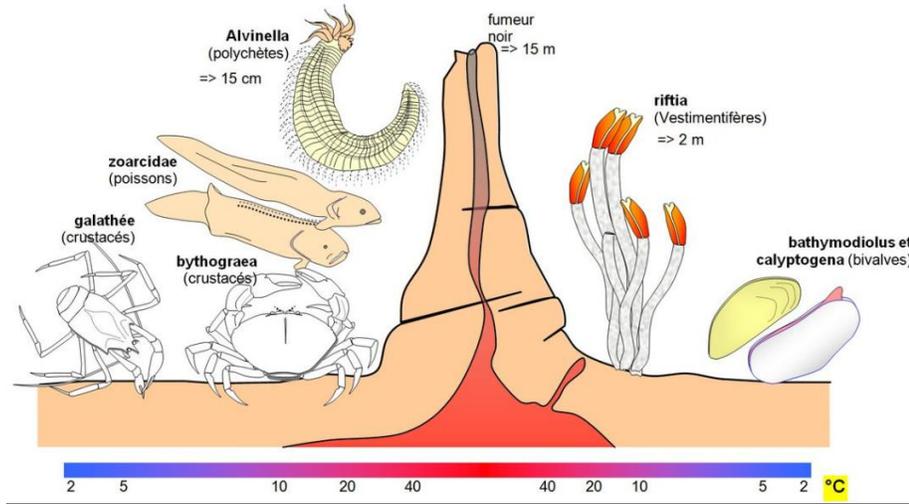
Profondeur
en km

Pression
en GPa

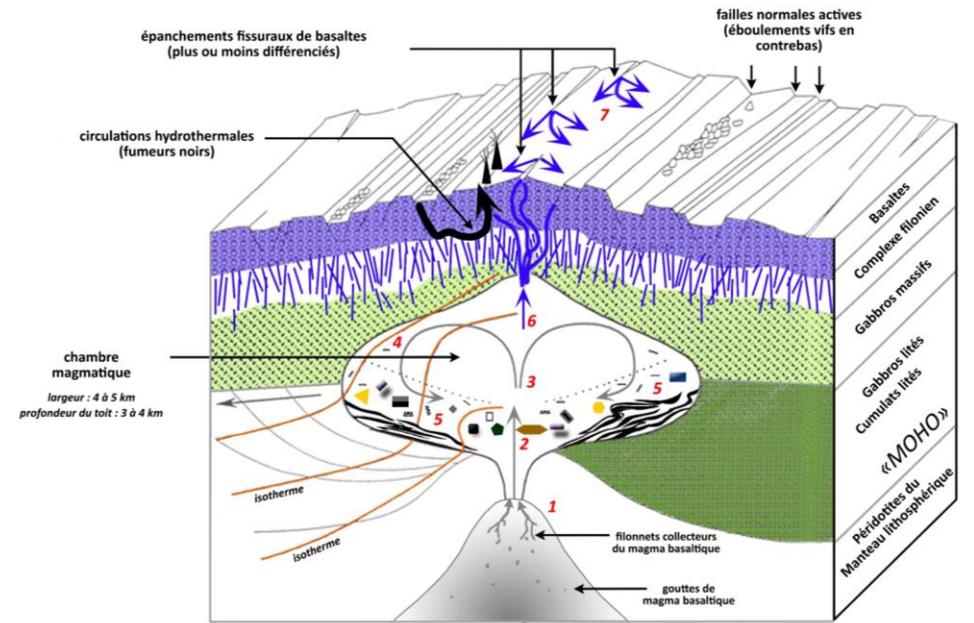
- faciès des amphibolites
- faciès des schistes verts
- faciès des schistes bleus
- faciès des élogites



Fumeurs noirs

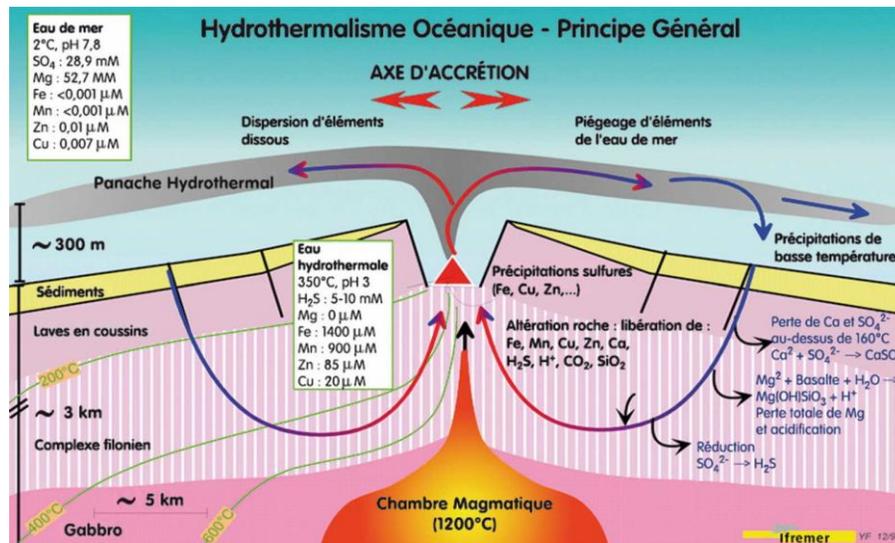


Faune hydrothermale



- 1- fusion partielle de l'asthénosphère
- 2- injection rythmique de magmas peu évolués
- 3- brassage par convection
- 4- cristallisation fractionnée près des parois froides
- 5- « sédimentation » de certains minéraux au fond de la chambre
- 6- injection de magmas différenciés (ou non) au toit de la chambre
- 7- épanchements basaltiques

Dorsale océanique : coupe



Formation des sulfures polymétalliques hydrothermaux

Les nodules polymétalliques sont formés à partir de la précipitation d'hydroxydes de fer $\text{Fe}(\text{OH})_2$ et de manganèse $\text{Mn}(\text{OH})_2$ sous forme de couches concentriques autour d'un noyau minéral ou nucleus. Ce noyau est souvent microscopique et peut être d'origine diverse : un fragment de magma, un débris de coquille, voire un reste d'un ancien nodule.

Mais parfois il peut s'agir d'une coquille ou d'une dent de requin comme c'est le cas sur l'échantillon de droite en bas. Cet échantillon a été prélevé à 5 000 mètres de profondeur au milieu de l'océan Indien. On ne connaît ni l'espèce ni l'âge de la dent du requin. Cependant d'après des études antérieures effectuées sur d'autres dragages de la collection, elle peut avoir un âge compris entre 10 000 et 60 000 ans. L'intérêt des nodules polymétalliques est leur richesse en métaux (manganèse, fer, cobalt, zinc, nickel) très utilisés dans l'industrie. Ils sont donc une ressource minière potentielle. Cependant, ce n'est pas sans conséquence sur la faune et la flore marine et les risques de pollution environnementale sont importants.

<https://www.osi-exploearth.org/Comment-se-forment-les-nodules-polymetalliques-de-manganese.html>



Section polie dans un nodule polymétallique composé d'oxy-hydroxydes de manganèse - Océan Indien

© MNHN - F. Farges



Nodule polymétallique autour d'une dent de requin (recueilli à 4740 m de profondeur dans l'Océan Indien)

© MNHN - F. Farges

La France possède le deuxième domaine maritime mondial, après les États-Unis. Le contrôle et la surveillance d'espaces maritimes de plus de 10,2 millions de km², répartis sur tous les océans, représentent autant d'enjeux économiques que stratégiques.

Les ressources halieutiques sont abondantes au large des côtes métropolitaines de la Manche et de l'Atlantique, ainsi que dans les espaces maritimes qui relèvent des Terres australes françaises – pêche au thon dans la zone économique exclusive au large des îles Éparses et pêche à la légine australe au large des îles de Kerguelen et de Crozet.

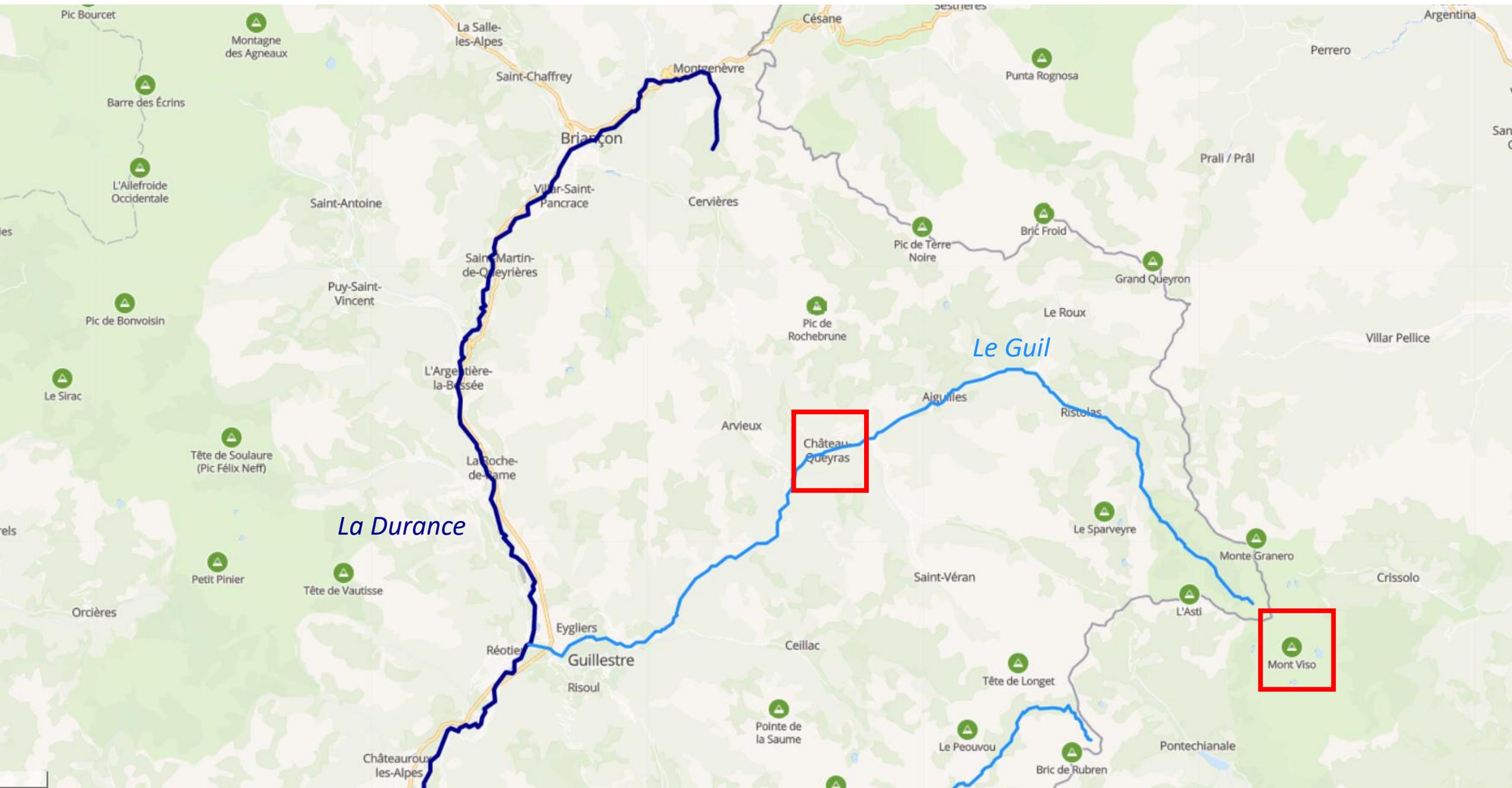
Les stocks de morue au large de l'archipel de Saint-Pierre-et-Miquelon ont certes disparu au début des années 1990 mais, bien qu'à une échelle beaucoup plus modeste, le concombre de mer a pris le relais. Des milliers de tonnes d'holothuries sont pêchées dans les eaux saint-pierraises, débarquées dans le port de Saint-Pierre et transformées sur place avant d'être expédiées par conteneurs au Canada d'où elles sont exportées vers les marchés asiatiques. L'espèce, surnommée "le caviar de l'archipel", fait la fortune des pêcheurs saint-pierrais, car elle est appréciée pour sa valeur nutritive, ses propriétés médicinales et ses supposées vertus aphrodisiaques.

Quant aux espaces maritimes situés dans les Antilles (où la pêche est surtout artisanale) et au large de la Nouvelle-Calédonie et de la Polynésie, ils sont relativement pauvres en ressources halieutiques.

Les ressources en hydrocarbures et en gaz sont dans l'ensemble faibles.

Il existe toutefois des ressources prometteuses, mais dont l'exploitation n'est guère envisageable dans un avenir proche pour des raisons à la fois techniques et financières, dans certains grands fonds marins au large de la Polynésie française (sulfures polymétalliques et encroûtements cobaltifères) et de l'atoll de Clipperton (nodules polymétalliques). Malgré plusieurs études de l'Ifremer, la France ne dispose actuellement que de visions très parcellaires de la richesse de ces fonds marins.

Les roches de la vallée du Guil à Château-Queyras



Roche du Queyras MGa₃

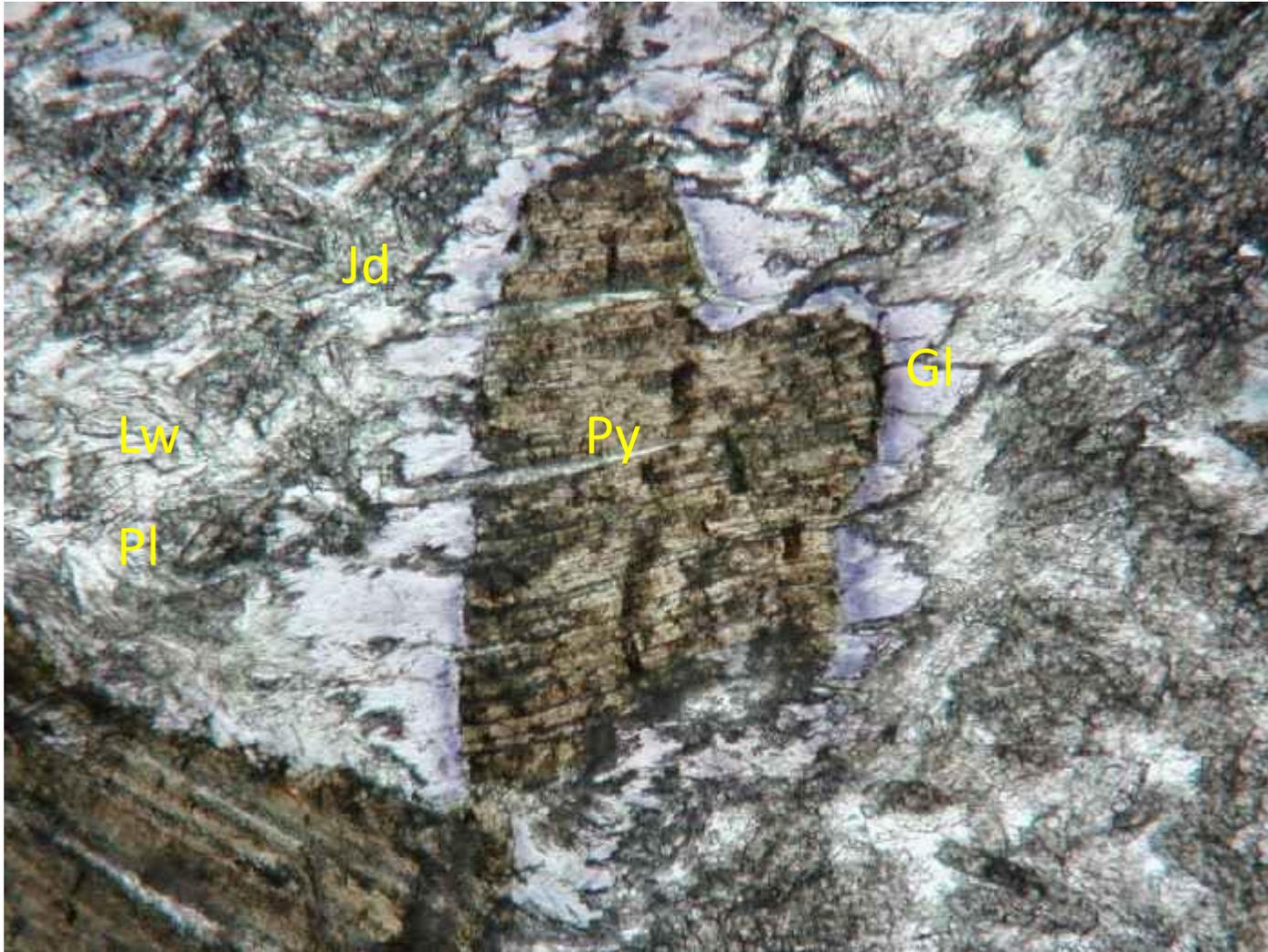






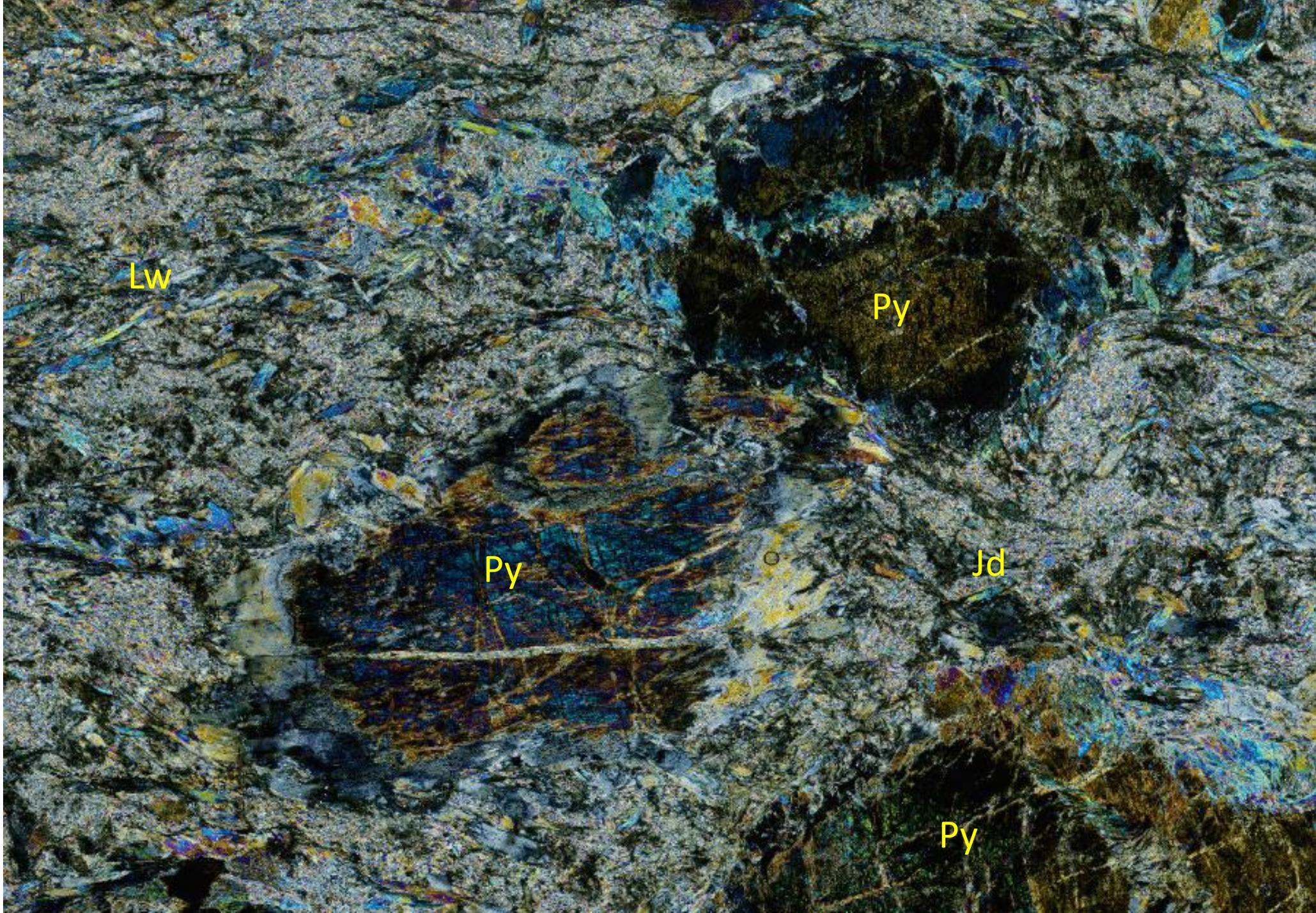


pyroxène + plagioclase →
glaucophane



Cristaux de plagioclase

Lame mince de métagabbro à glaucophane en LPA



LW

Py

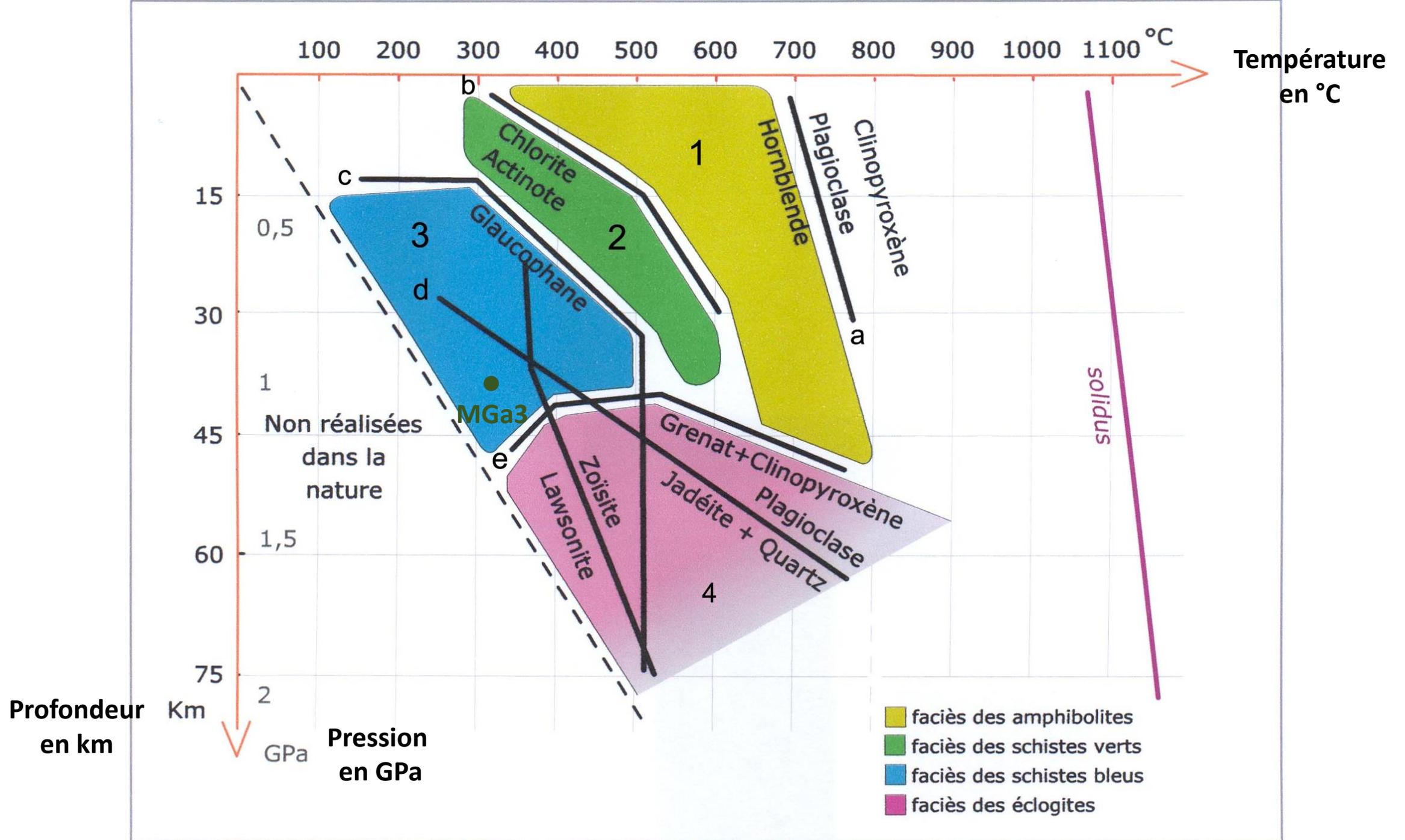
Py

Jd

Py

Document 1 – Tableau récapitulatif des minéraux constitutifs de ces roches

| Echantillons de roches | | | | | |
|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|-----------------------|
| Minéraux | PGa₁ | MGa₁ | MGa₂ | MGa₃ | ME₁ |
| Cpx/Px | + | + | + | + | |
| Pl | + | + | + | + | |
| Hb | | + | + | + | |
| Chl | | | + | | |
| Act | | | + | | |
| Glc | | | | + | |
| Ep | | | + | | |
| Q | | | | | |
| Ja | | | | + | |
| Gt | | | | | |
| Lw | | | | + | |



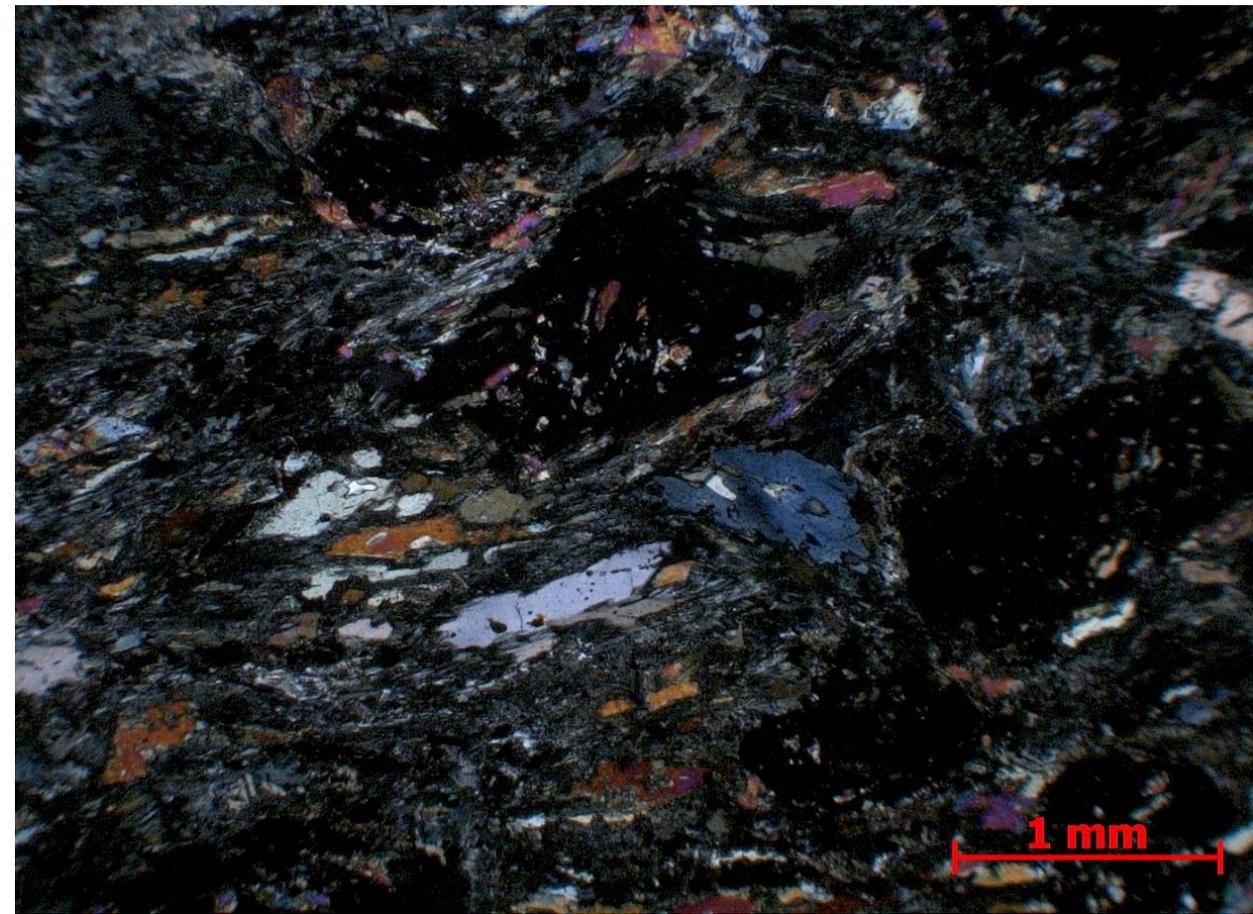
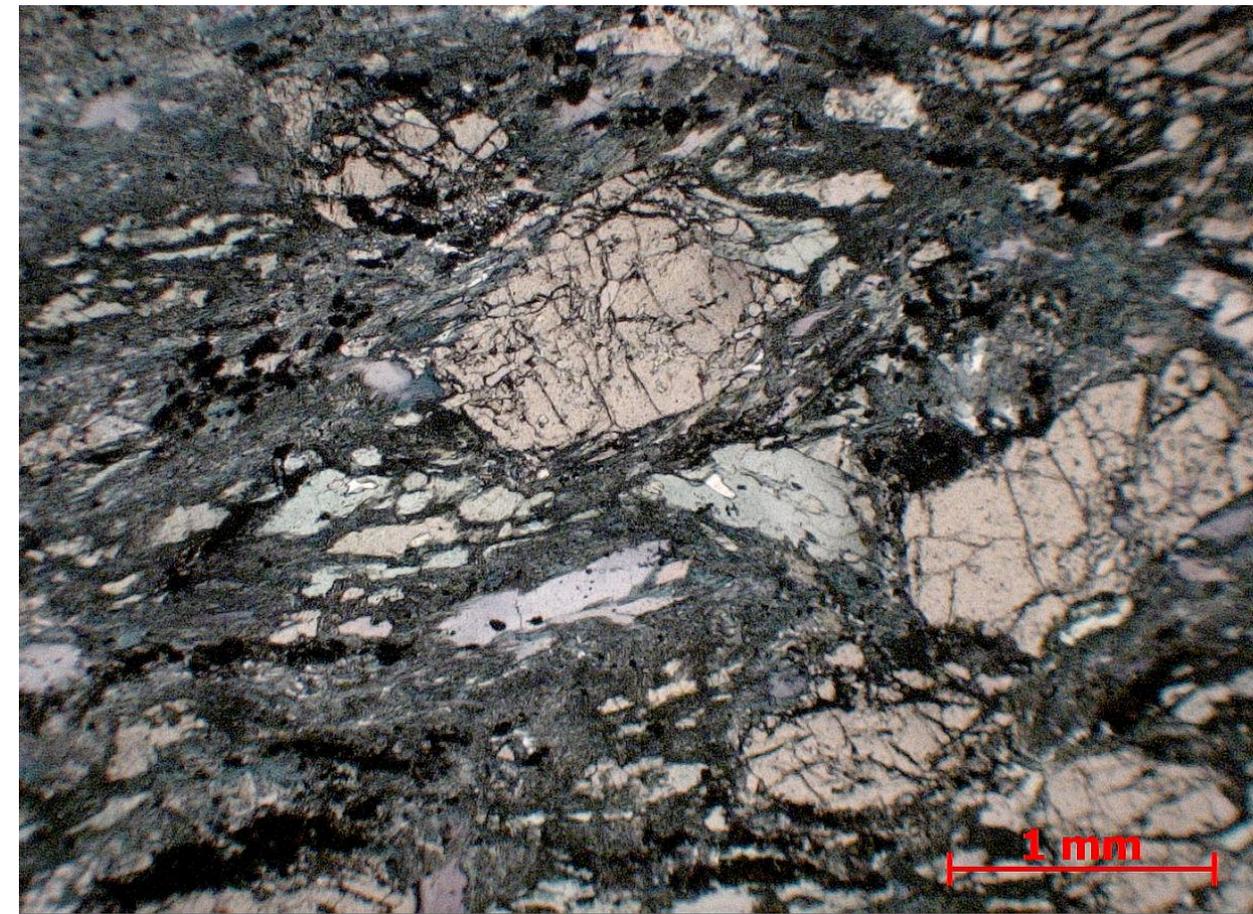
Roche Viso ME₁





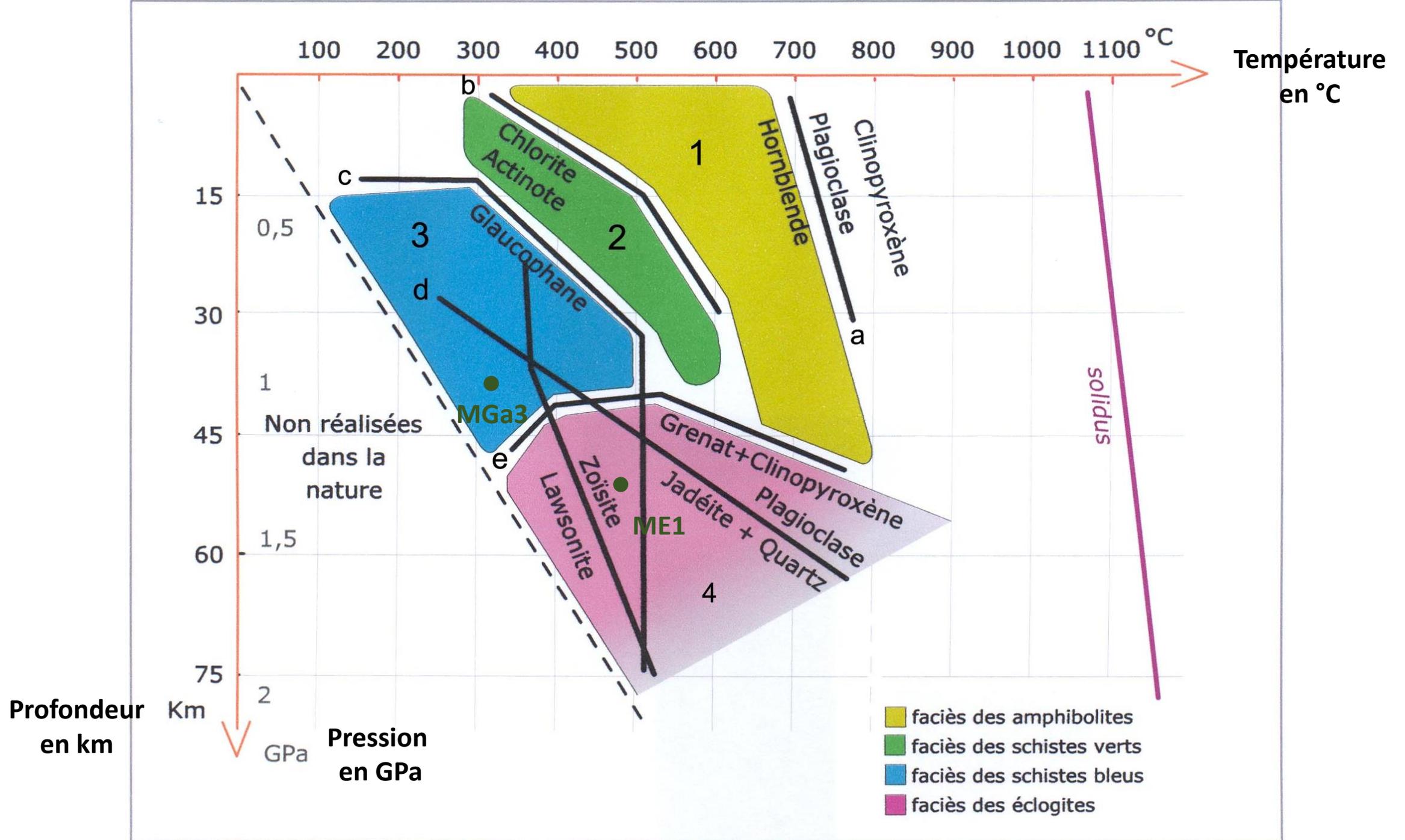


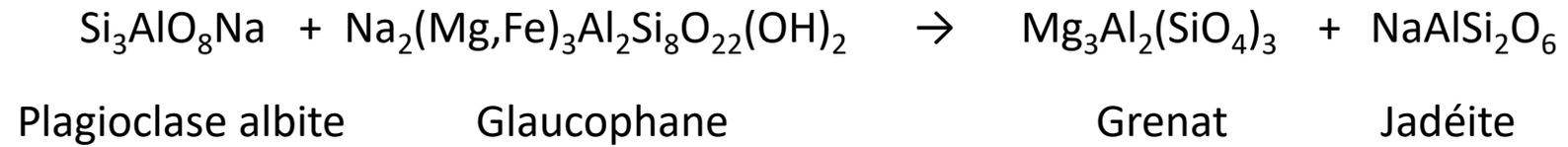


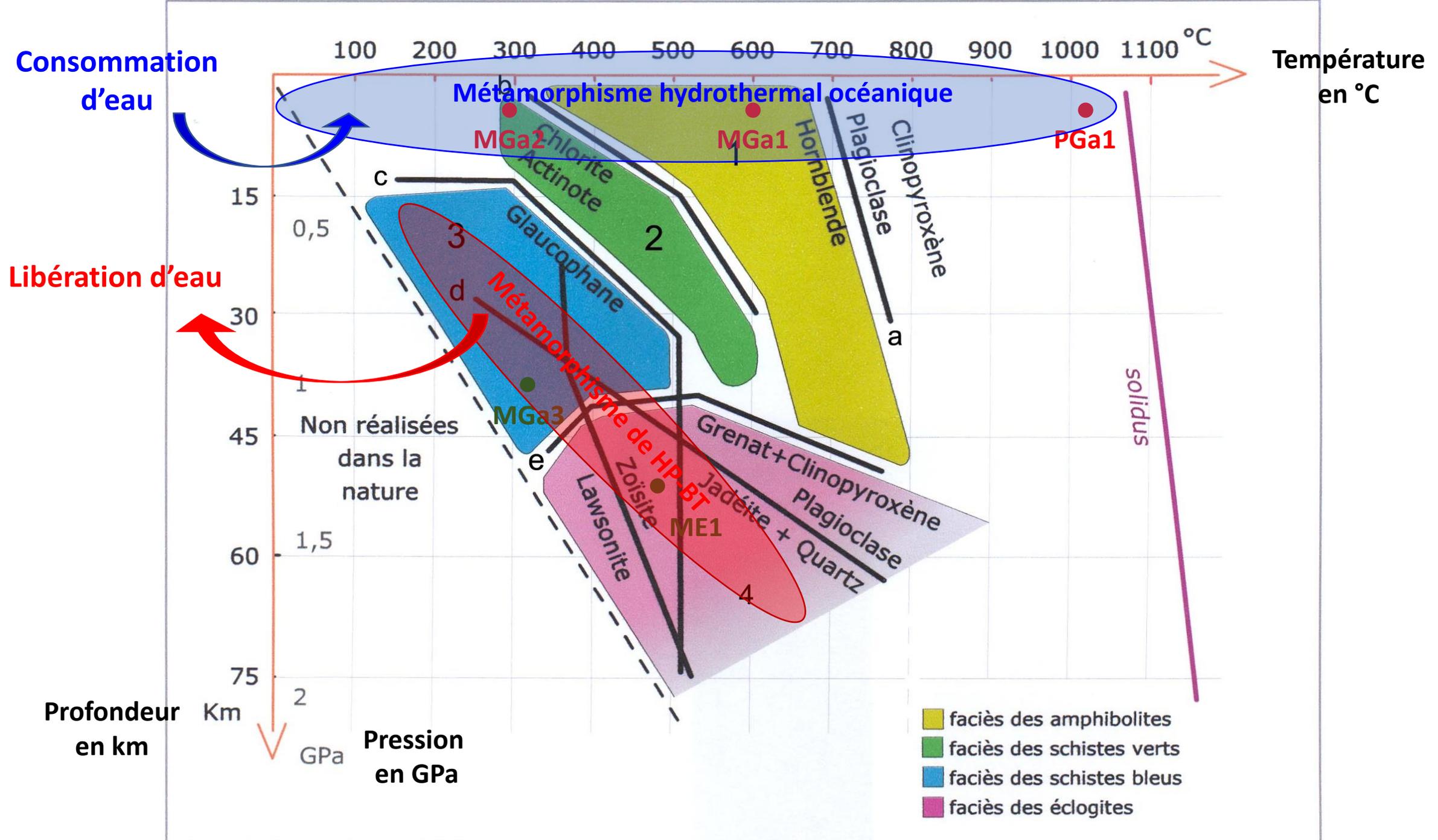


Document 1 – Tableau récapitulatif des minéraux constitutifs de ces roches

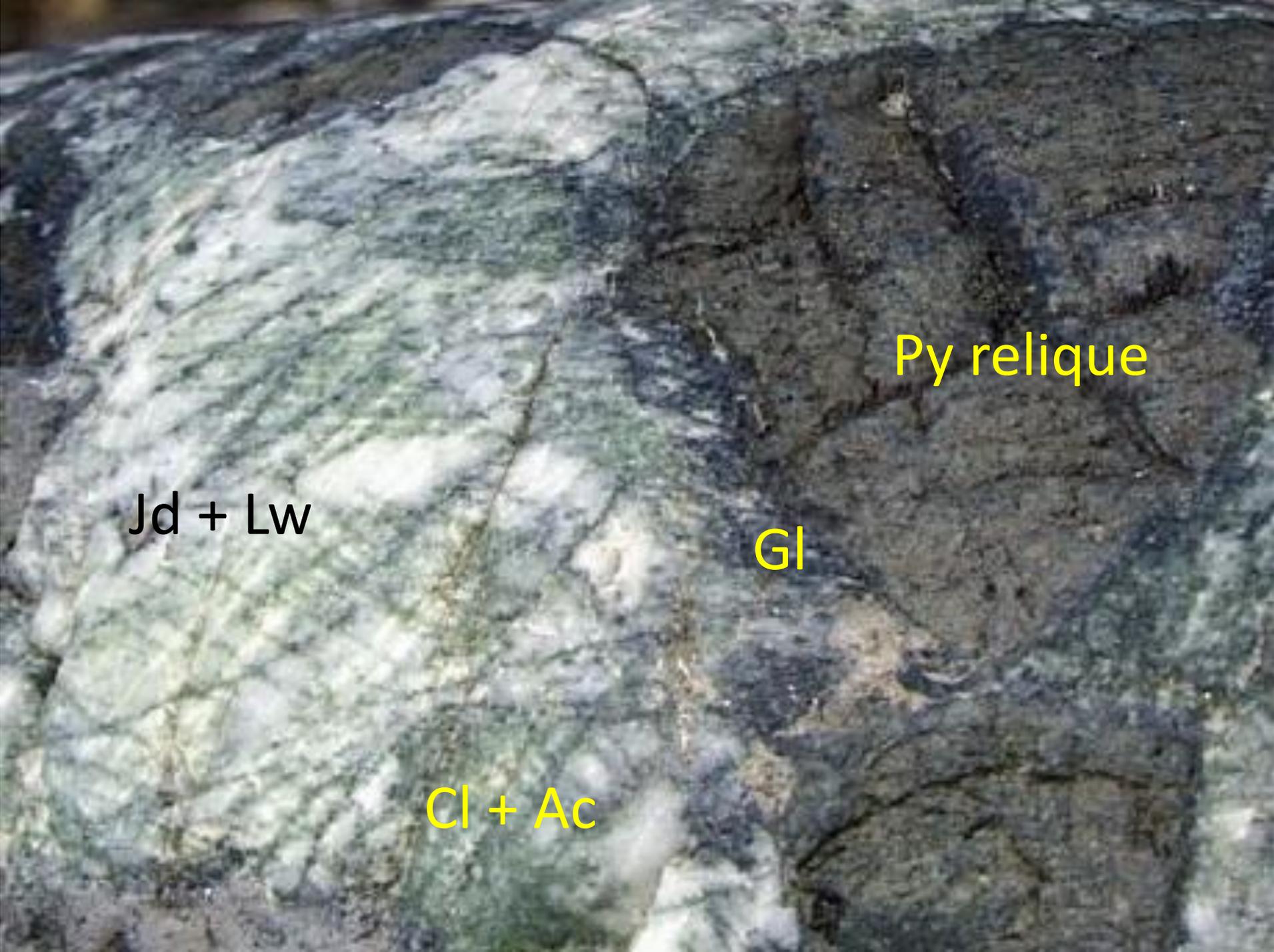
| Echantillons de roches | | | | | |
|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|-----------------------|
| Minéraux | PGa₁ | MGa₁ | MGa₂ | MGa₃ | ME₁ |
| Cpx/Px | + | + | + | + | omphacite |
| Pl | + | + | + | + | |
| Hb | | + | + | + | |
| Chl | | | + | | |
| Act | | | + | | |
| Glc | | | | + | + |
| Ep | | | + | | |
| Q | | | | | |
| Ja | | | | + | + |
| Gt | | | | | + |
| Lw | | | | + | + |







Roches illustrant
la rétrogenèse

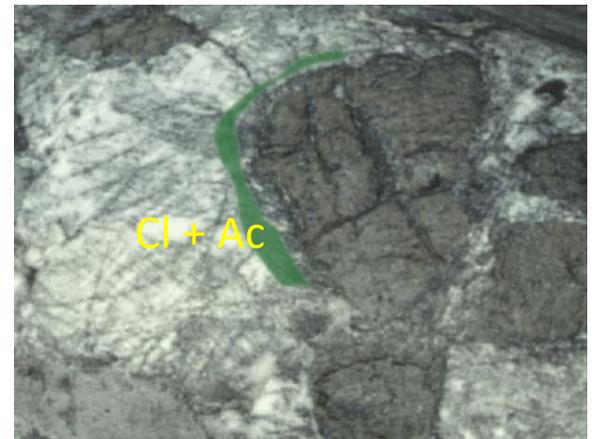
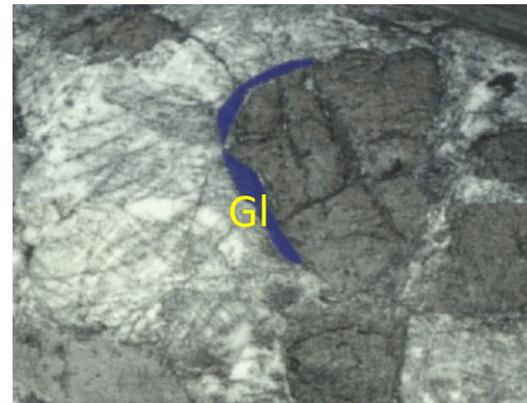
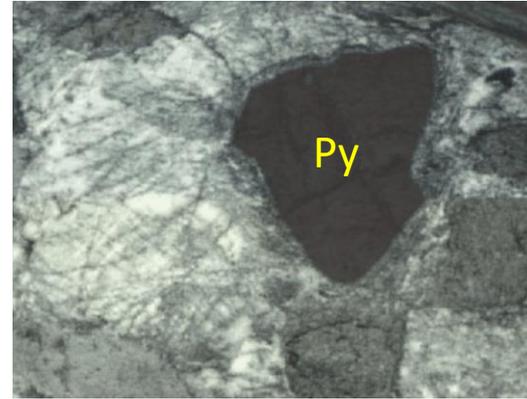
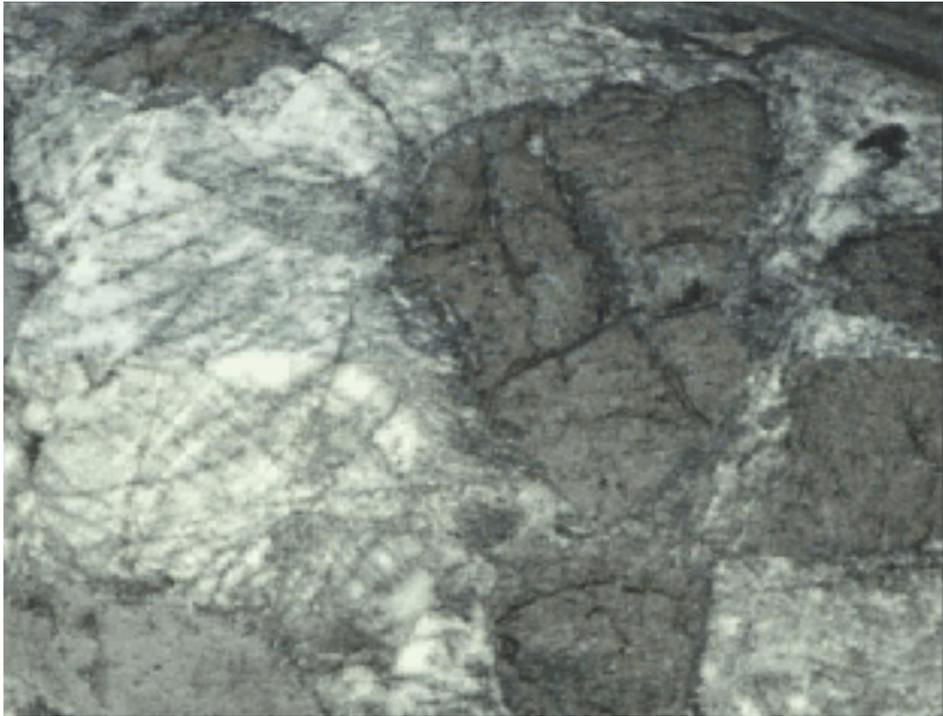


Jd + Lw

Py relique

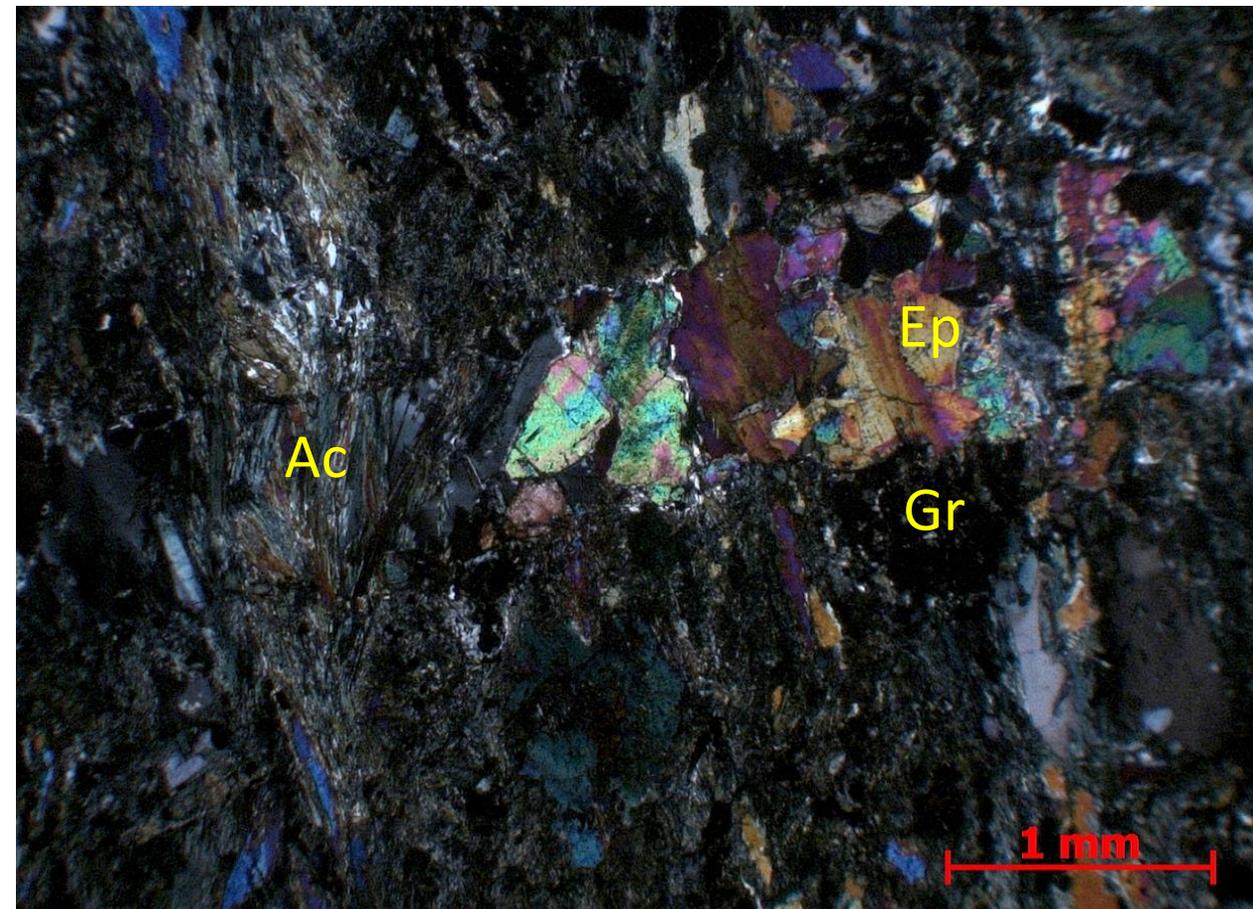
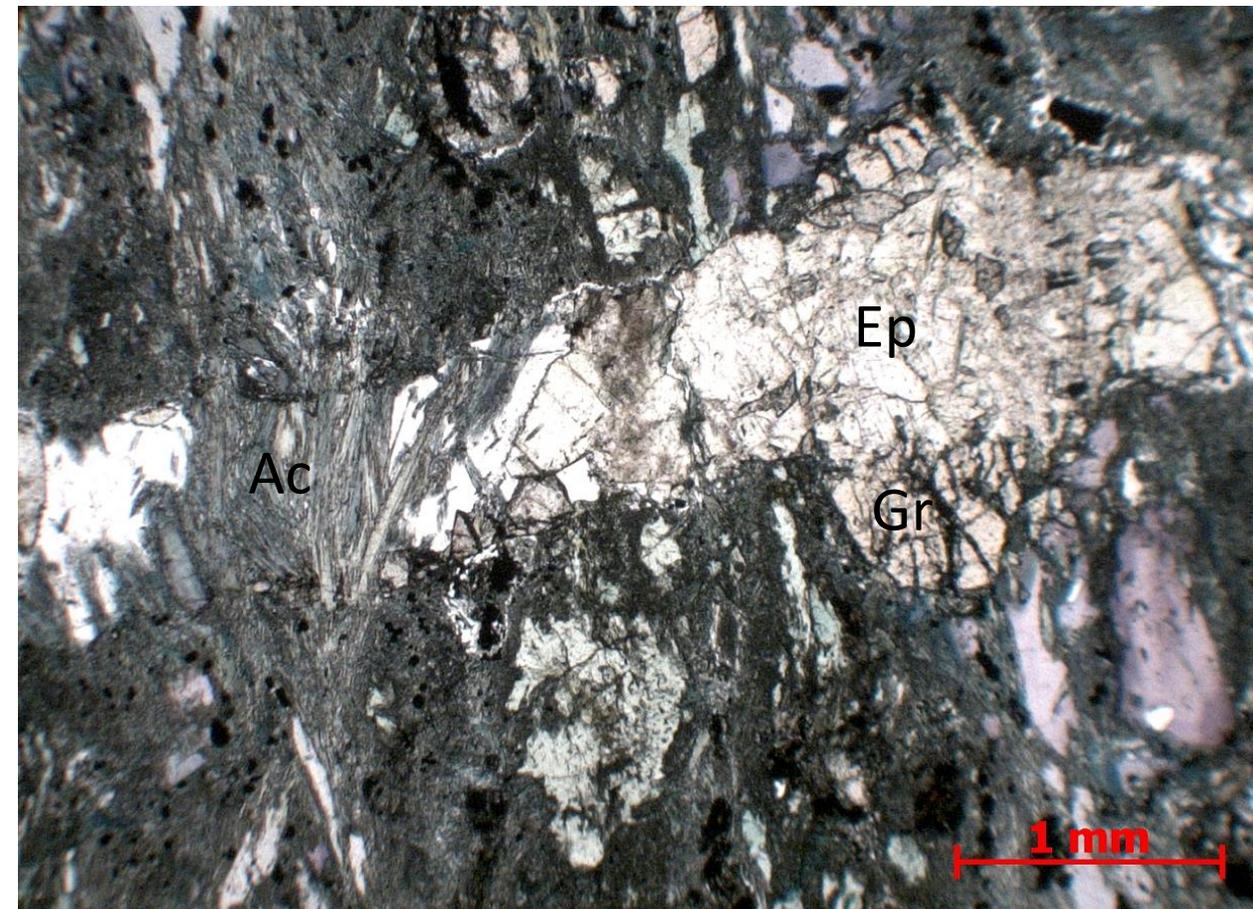
Gl

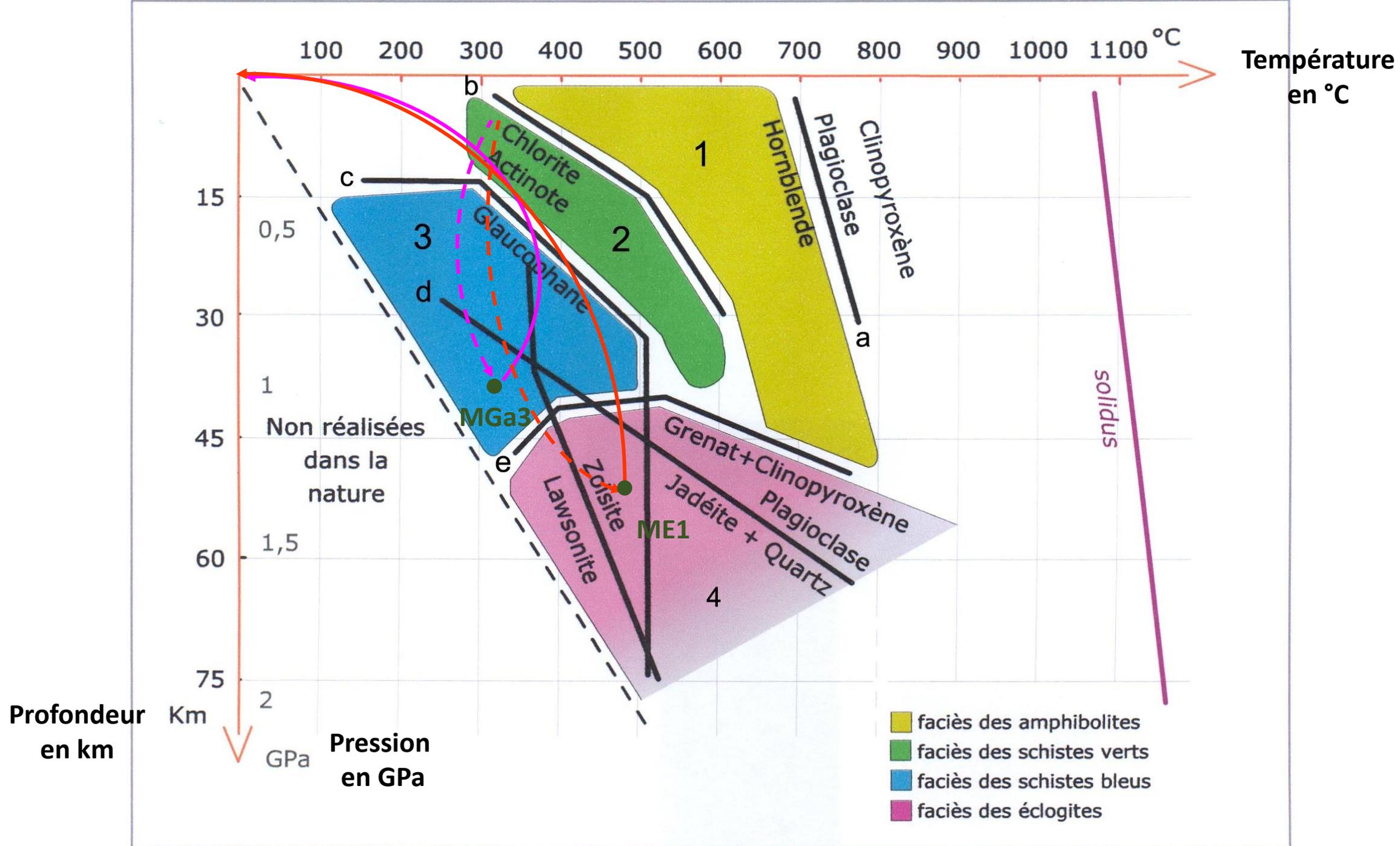
Cl + Ac



Des veines formées d'épidote, d'actinote et de chlorite recoupent la foliation de cette éclogite sont tardives. Elles indiquent pour cette éclogite, un passage dans le domaine métamorphique des schistes verts au cours de son exhumation.

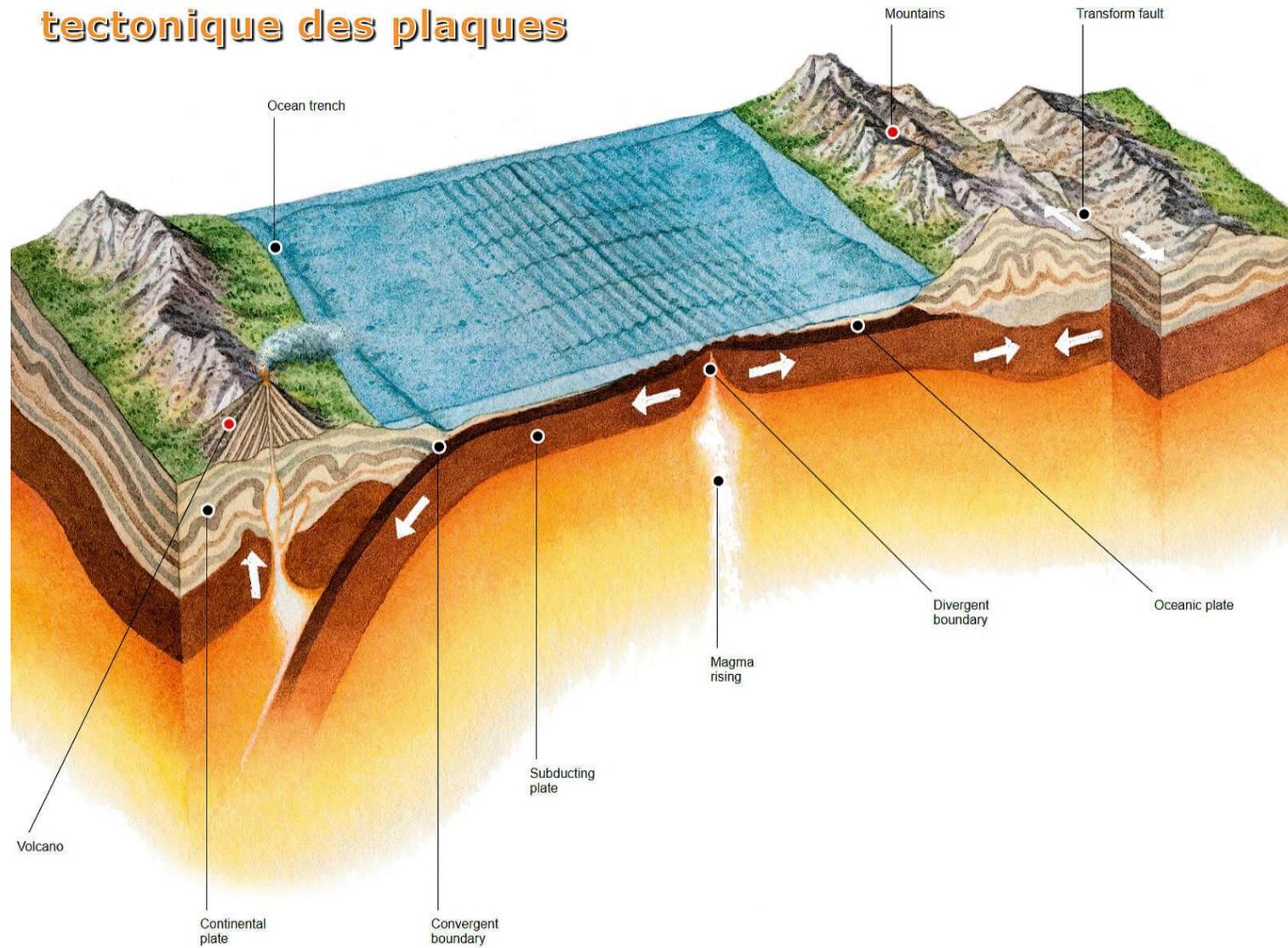


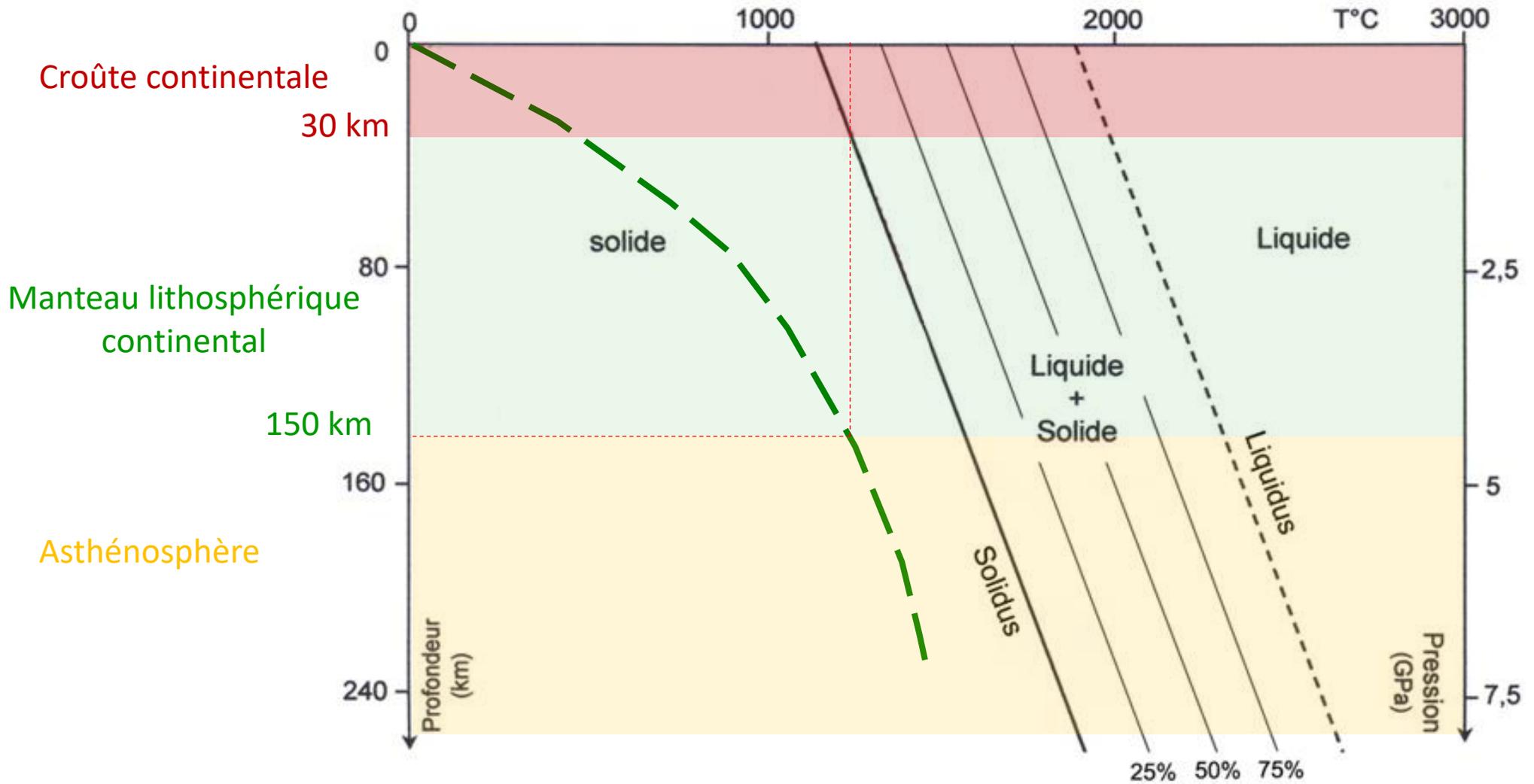




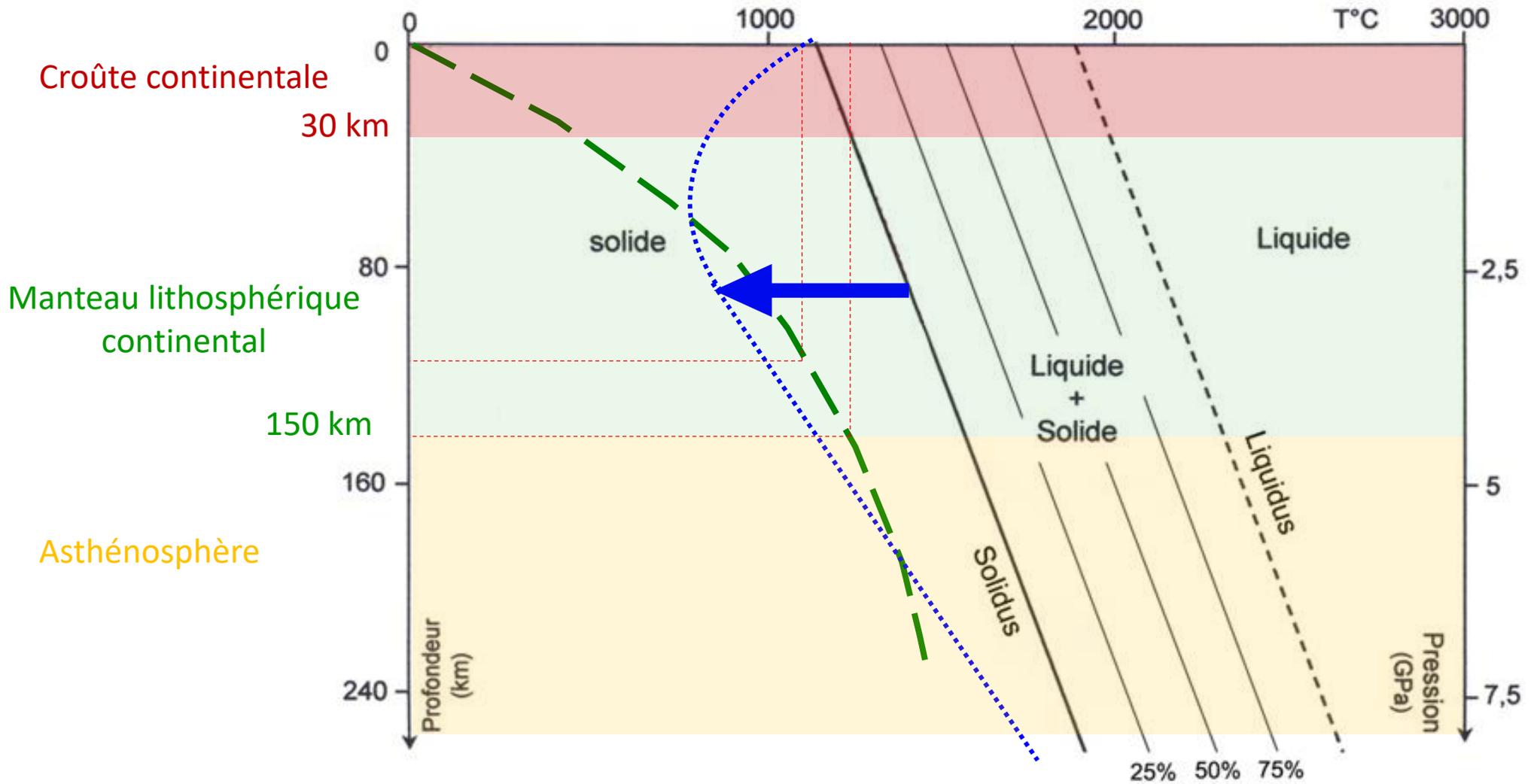
Synthèse des observations

tectonique des plaques

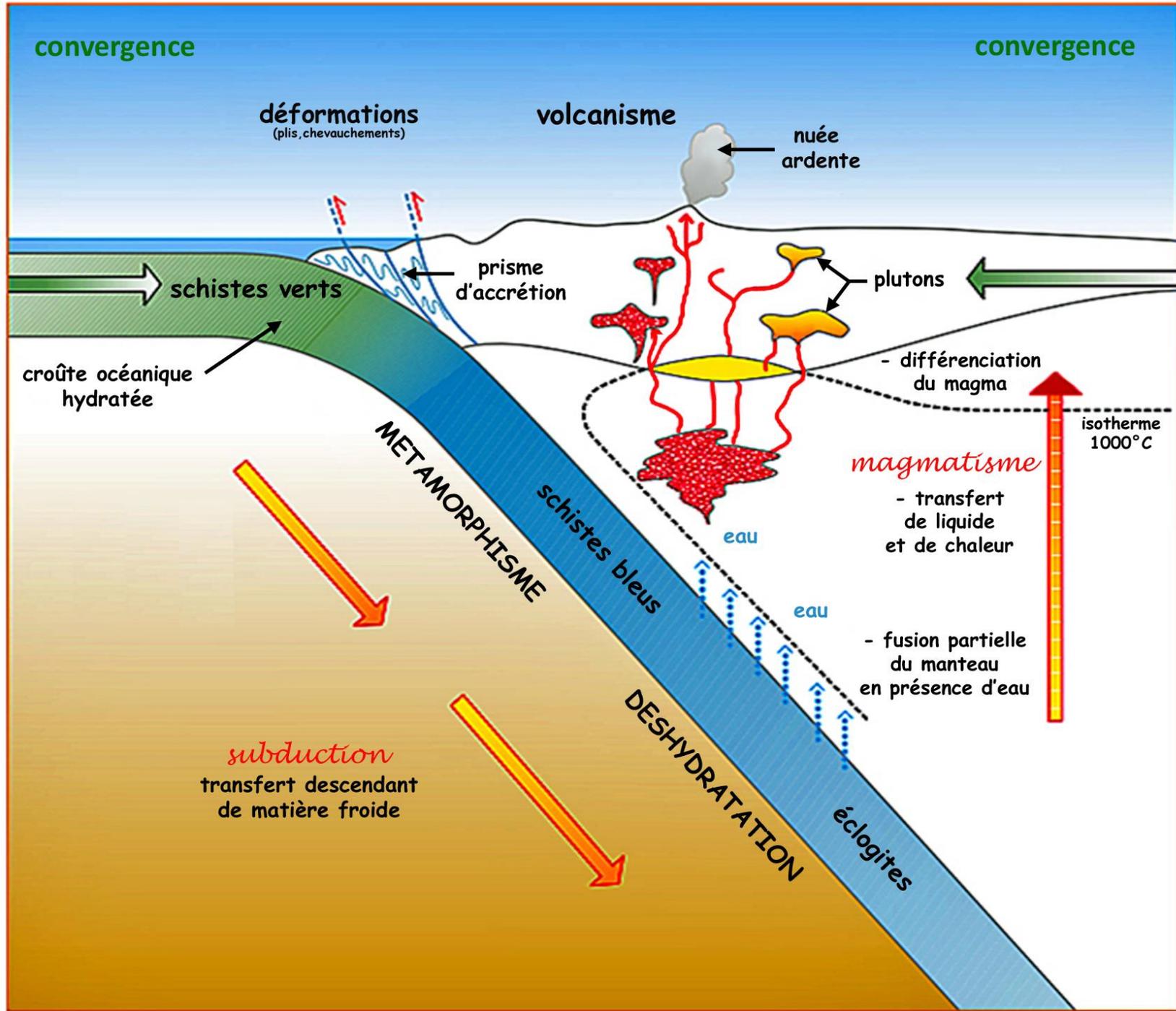




— — — Géotherme continental



- Géotherme continental
- Solidus hydraté



convergence

convergence

déformations
(plis, chevauchements)

volcanisme

nuée
ardente

schistes verts

prisme
d'accrétion

plutons

croûte océanique
hydratée

- différenciation
du magma

isotherme
1000°C

METAMORPHISME

schistes bleus

magmatisme

- transfert
de liquide
et de chaleur

- fusion partielle
du manteau
en présence d'eau

eau

eau

subduction

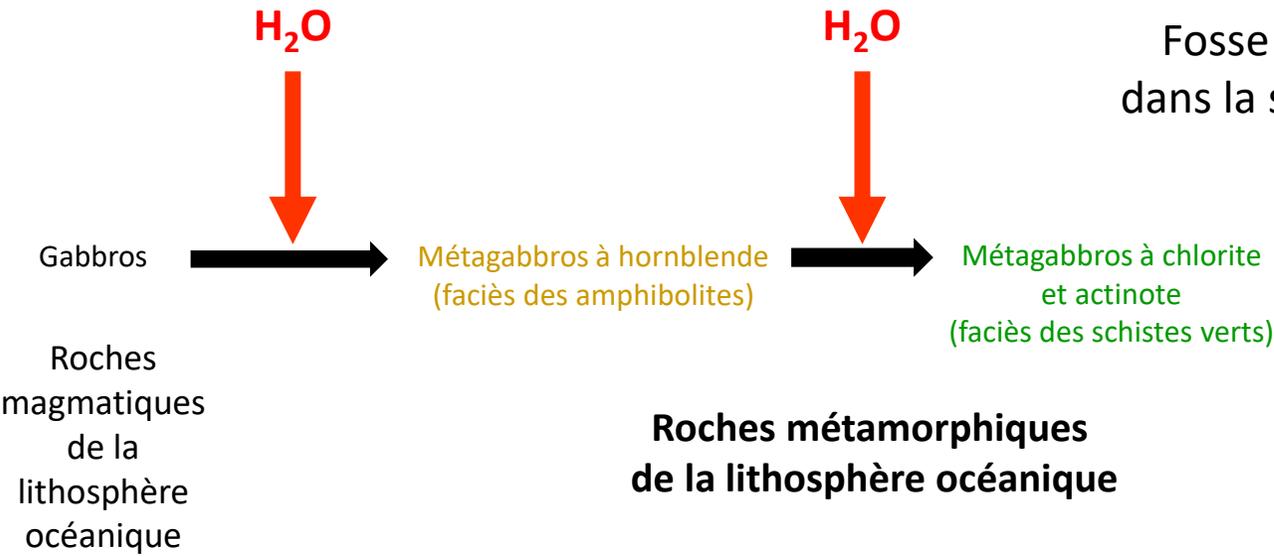
transfert descendant
de matière froide

DESHYDRATATION

éclogites

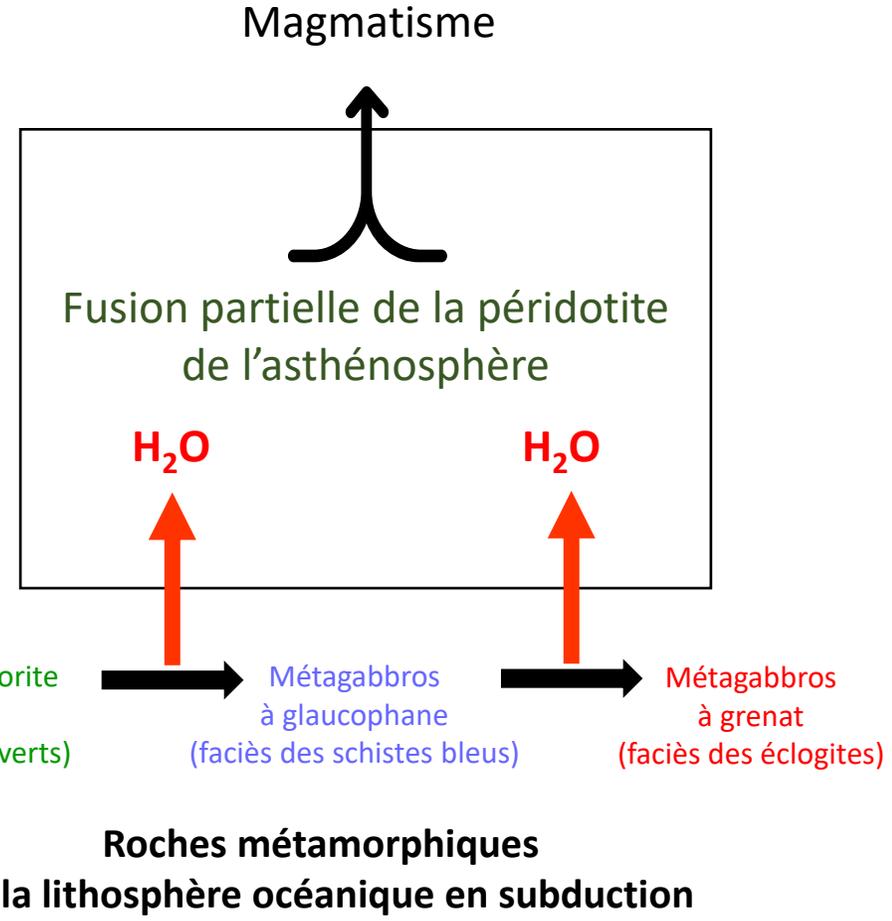
Transformations subies par le gabbro au cours de son trajet au fond de l'océan = **Métamorphisme hydrothermal océanique**

Océan



Continent

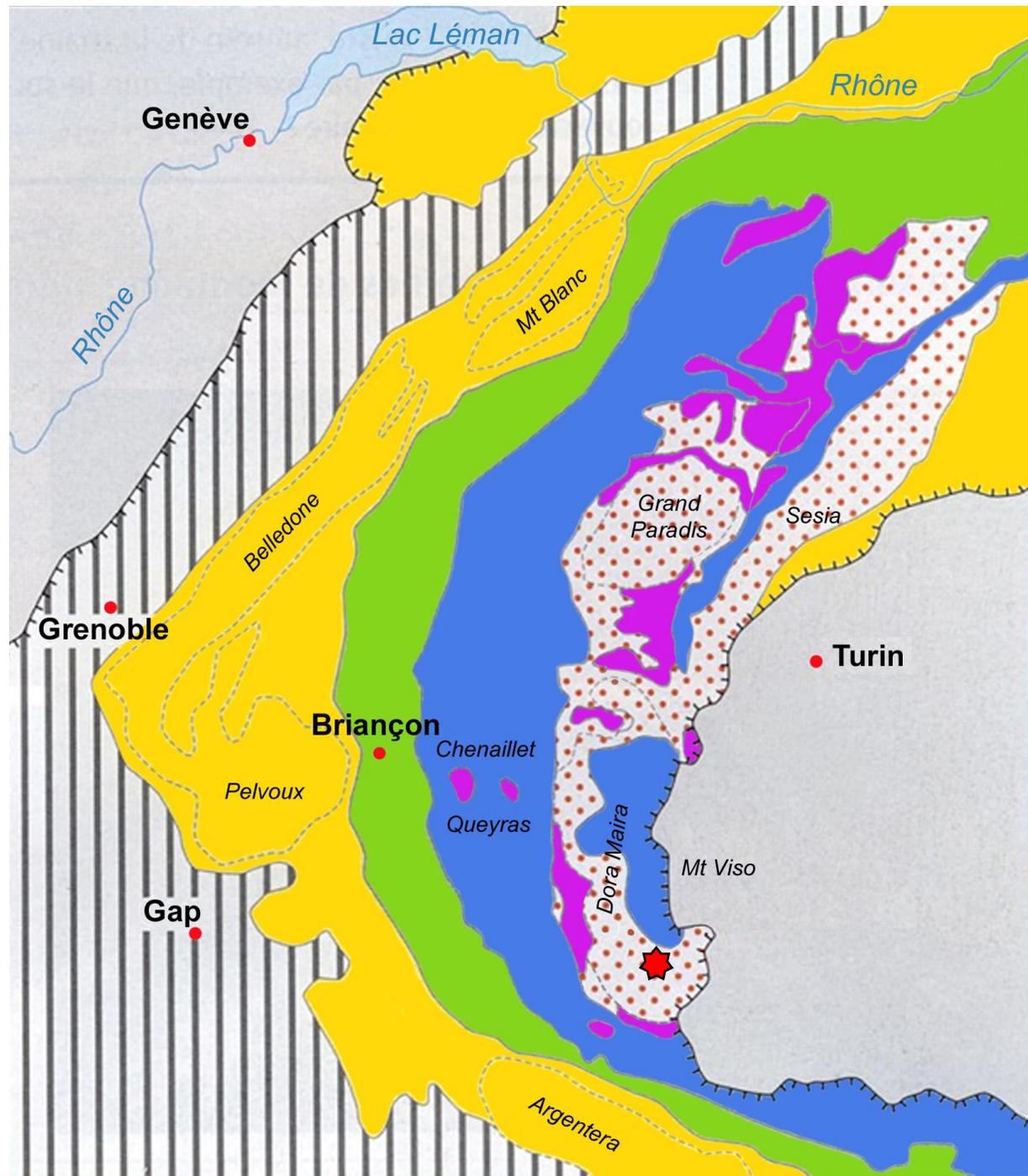
Fosse = entrée dans la subduction



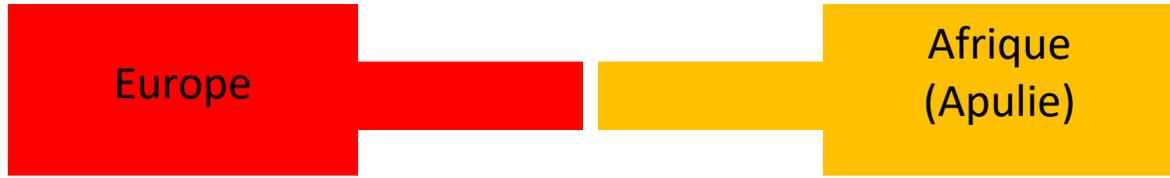
Transformations subies par le gabbro au cours de la subduction = **Métamorphisme de HP-BT**

-  bassins sédimentaires péri-alpins
-  limites du domaine plissé de la chaîne
-  roches plissées de la couverture non métamorphique
-  ophiolites (métagabbros et métapériodites ou serpentinites)
-  métamorphisme de faible degré
-  faciès des schistes verts à chlorite et actinote
-  faciès des schistes bleus à glaucophane
-  faciès des éclogites
-  faciès d'ultra haute pression

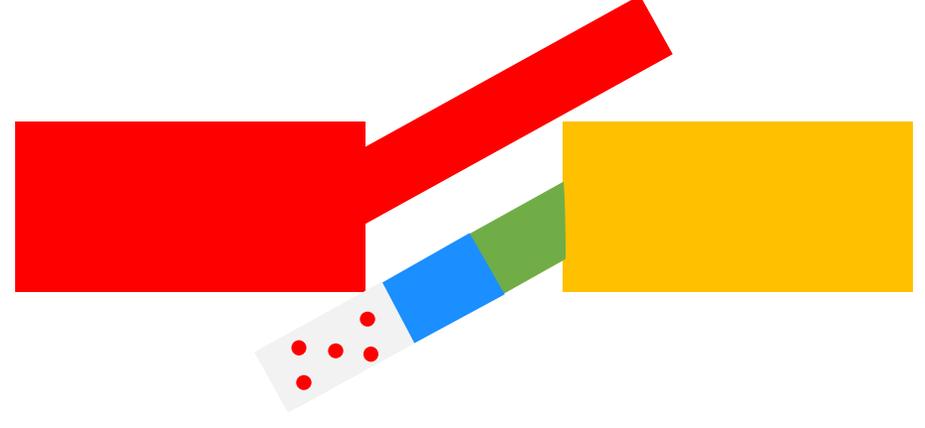
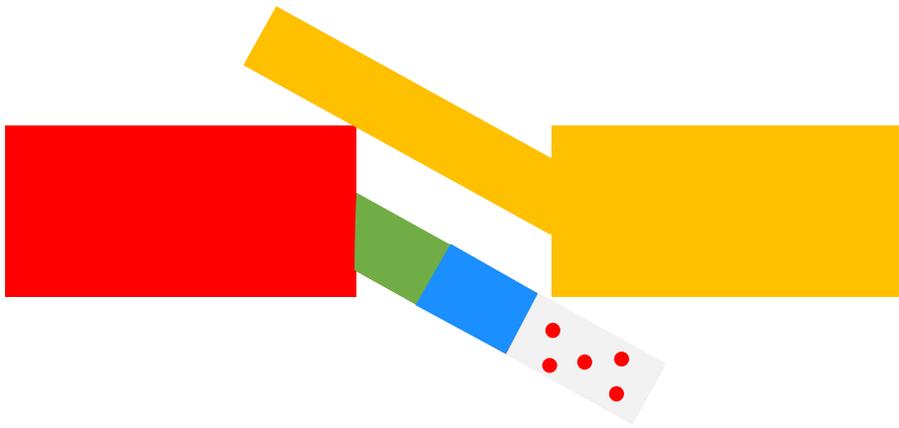
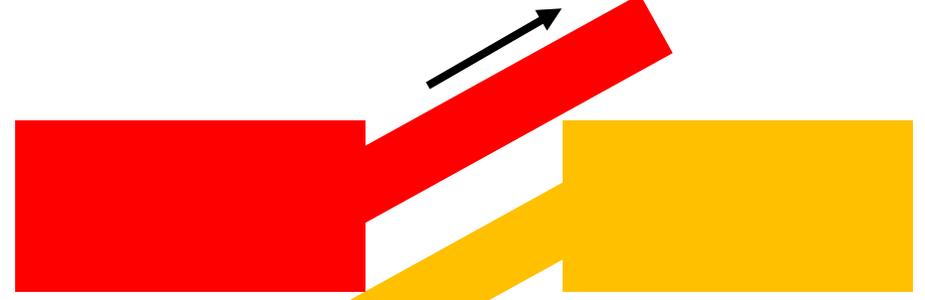
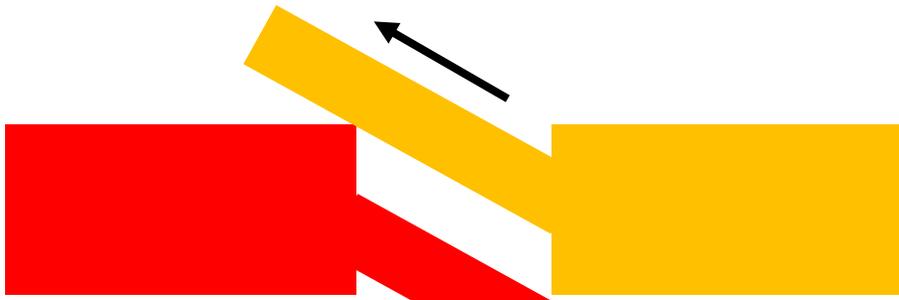
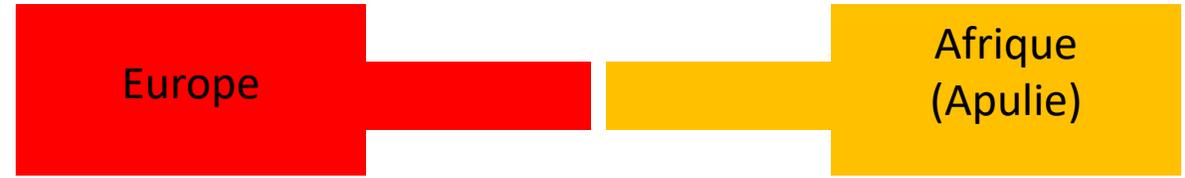
Zones alpines de métamorphisme
(d'après « Pour la Science » Juin 1995)

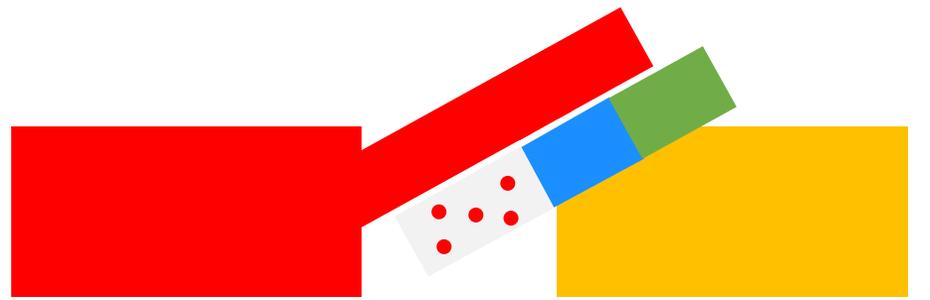
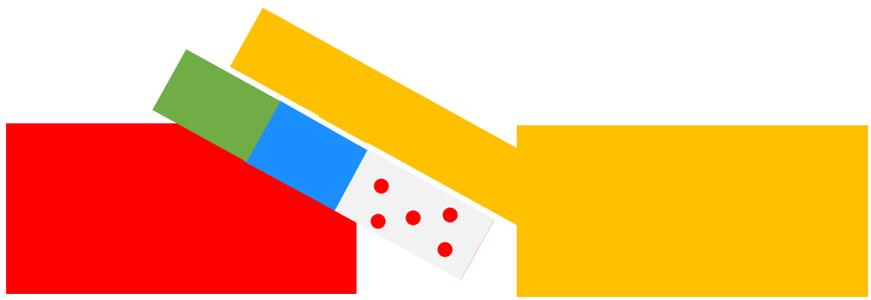
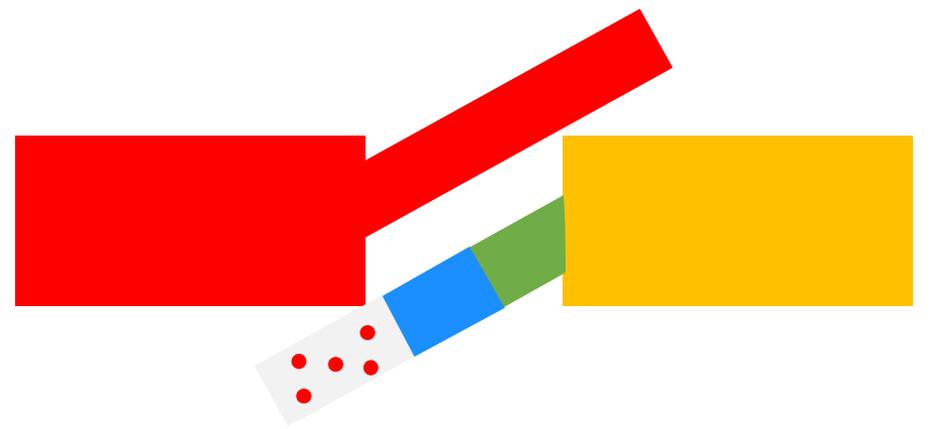
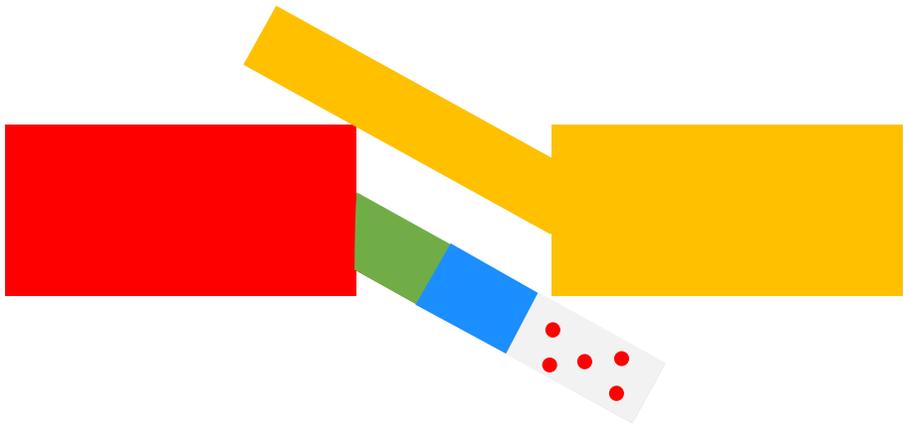


Téthys alpine

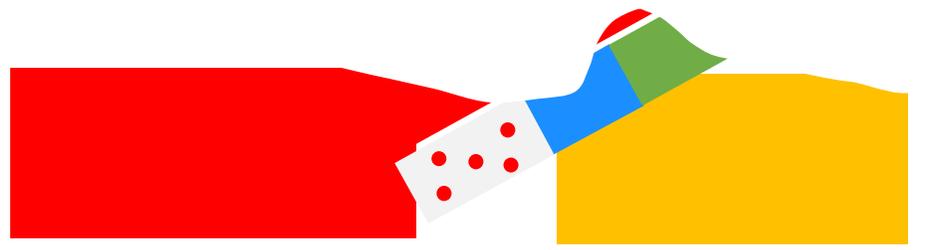
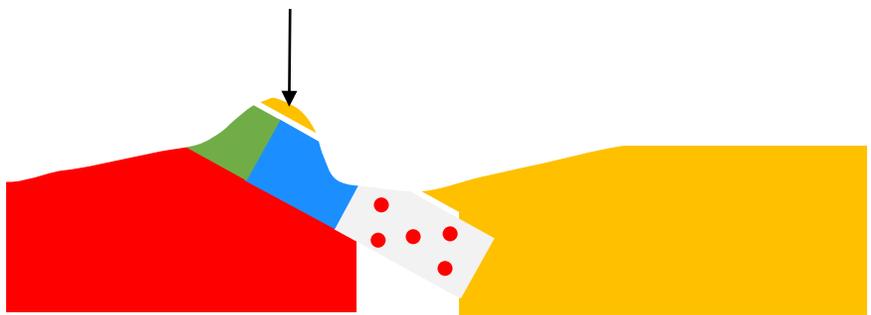


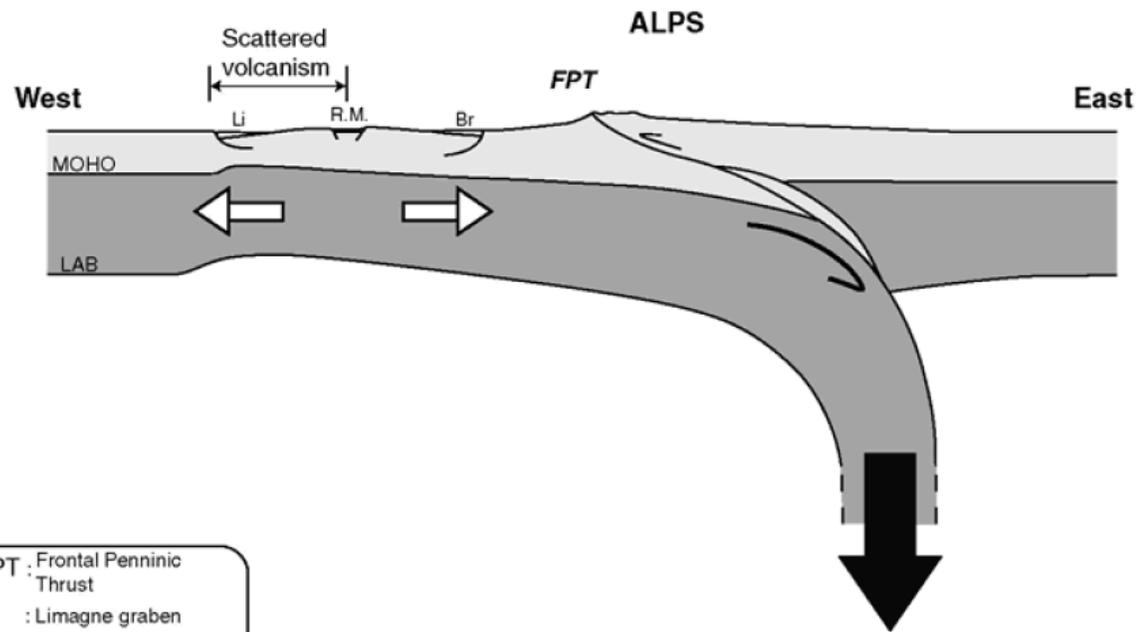
Téthys alpine





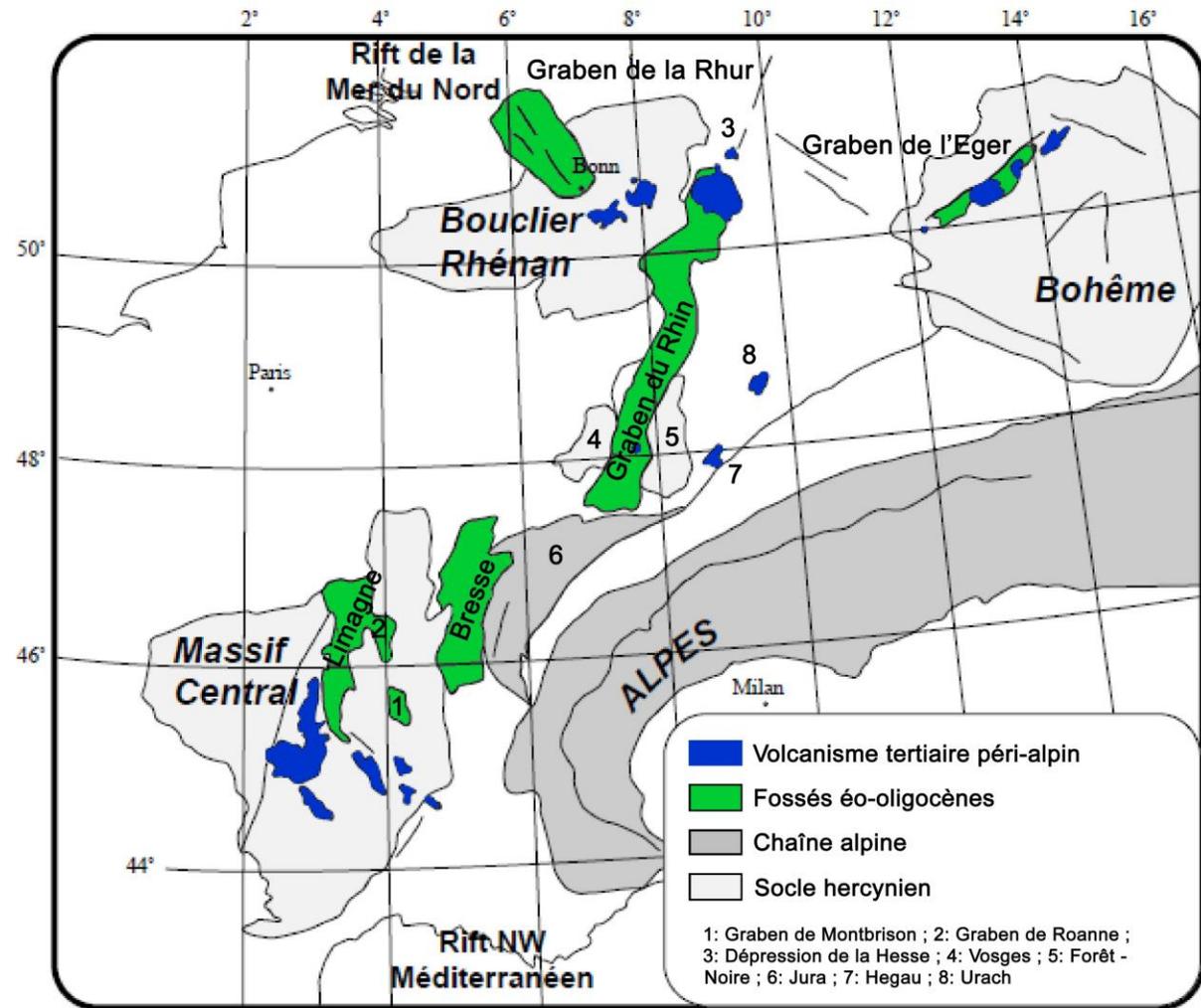
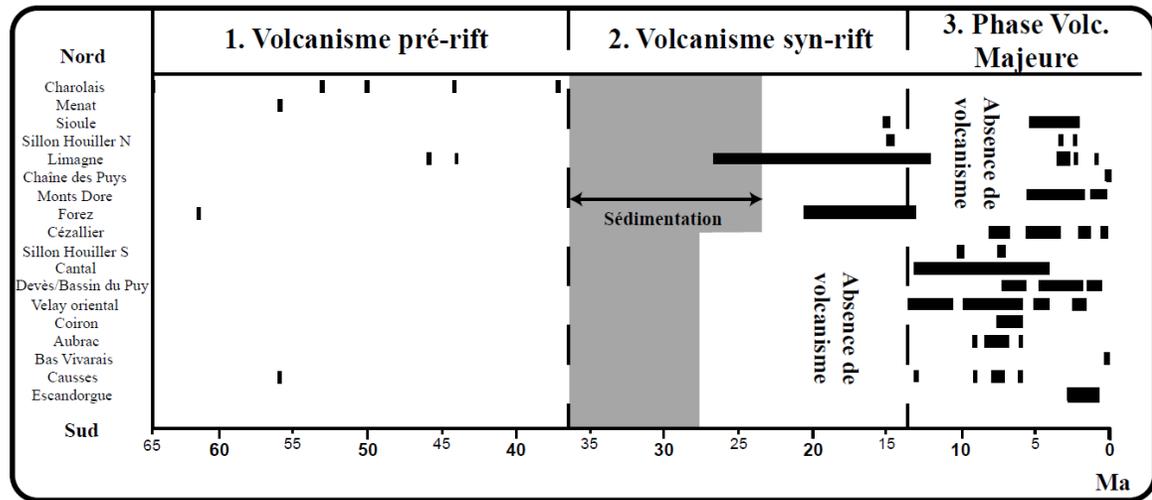
Le Chenaillet





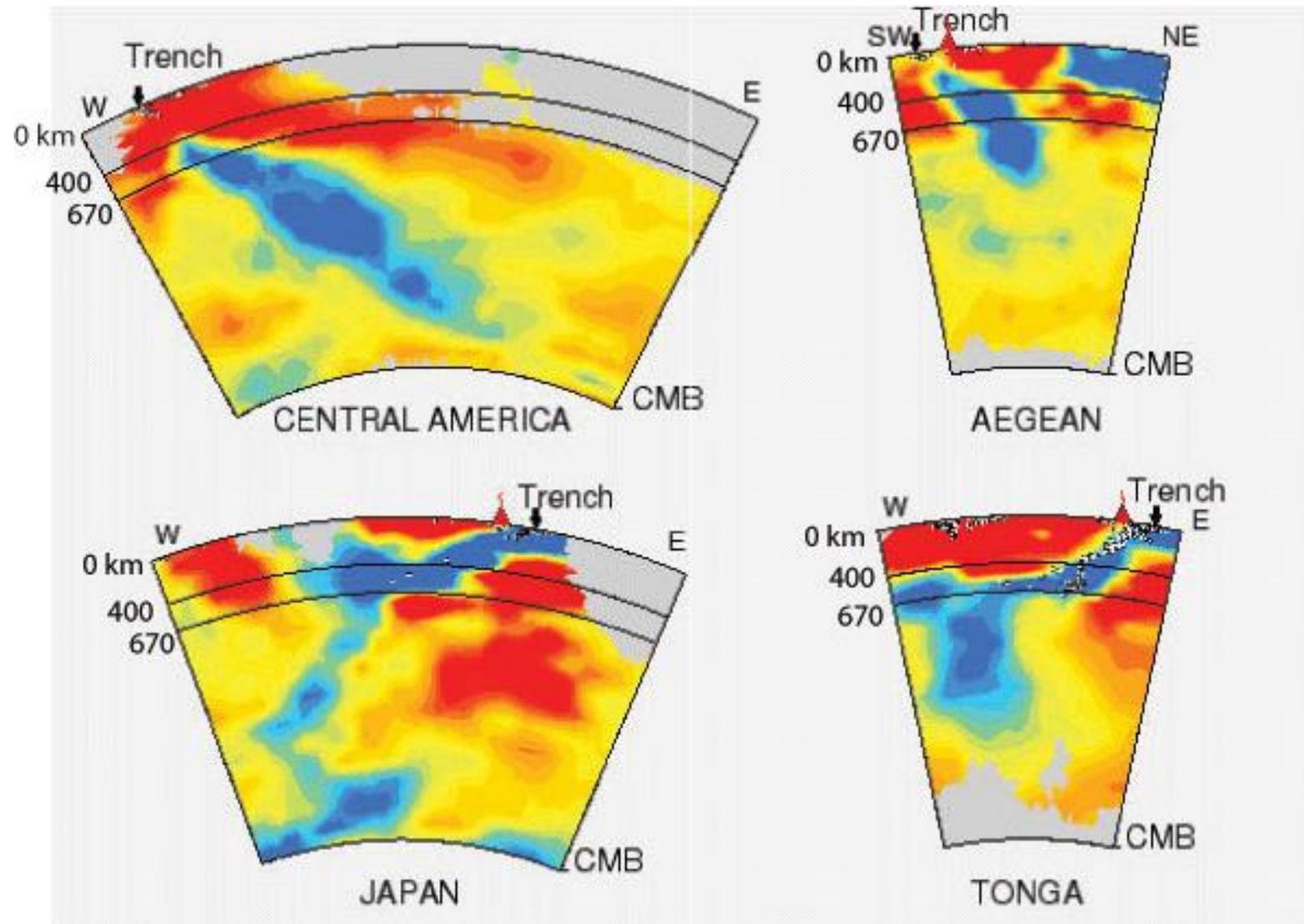
FPT : Frontal Penninic Thrust
 Li : Limagne graben
 R.M.: Roanne-Montbrison grabens
 Br : Bresse graben

A

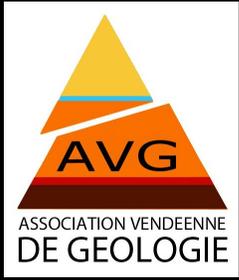


■ Volcanisme tertiaire péri-alpin
■ Fossés éo-oligocènes
■ Chaîne alpine
■ Socle hercynien

1: Graben de Montbrison ; 2: Graben de Roanne ;
 3: Dépression de la Hesse ; 4: Vosges ; 5: Forêt - Noire ; 6: Jura ; 7: Hegau ; 8: Urach



Images tomographiques au niveau de l'Amérique centrale (Central America), du Japon (Japan), de la mer Égée (Agean) et des Tonga.



FIN



Très belle vidéo : « La Corse arrachée à la France ? »

<https://www.youtube.com/watch?v=HseoFtXytuM>