Correction TP

Dynamique des zones de convergence -

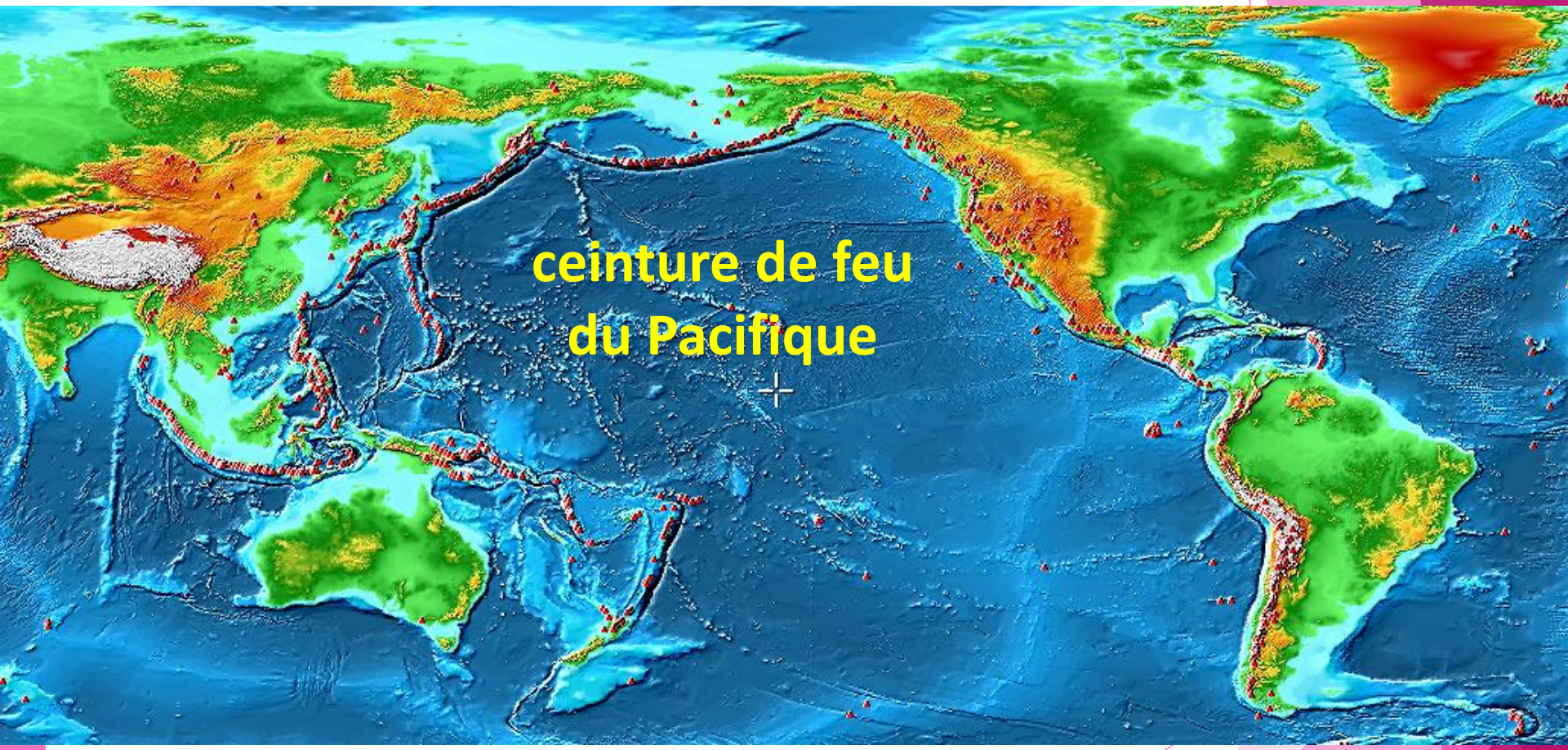
les zones de subduction

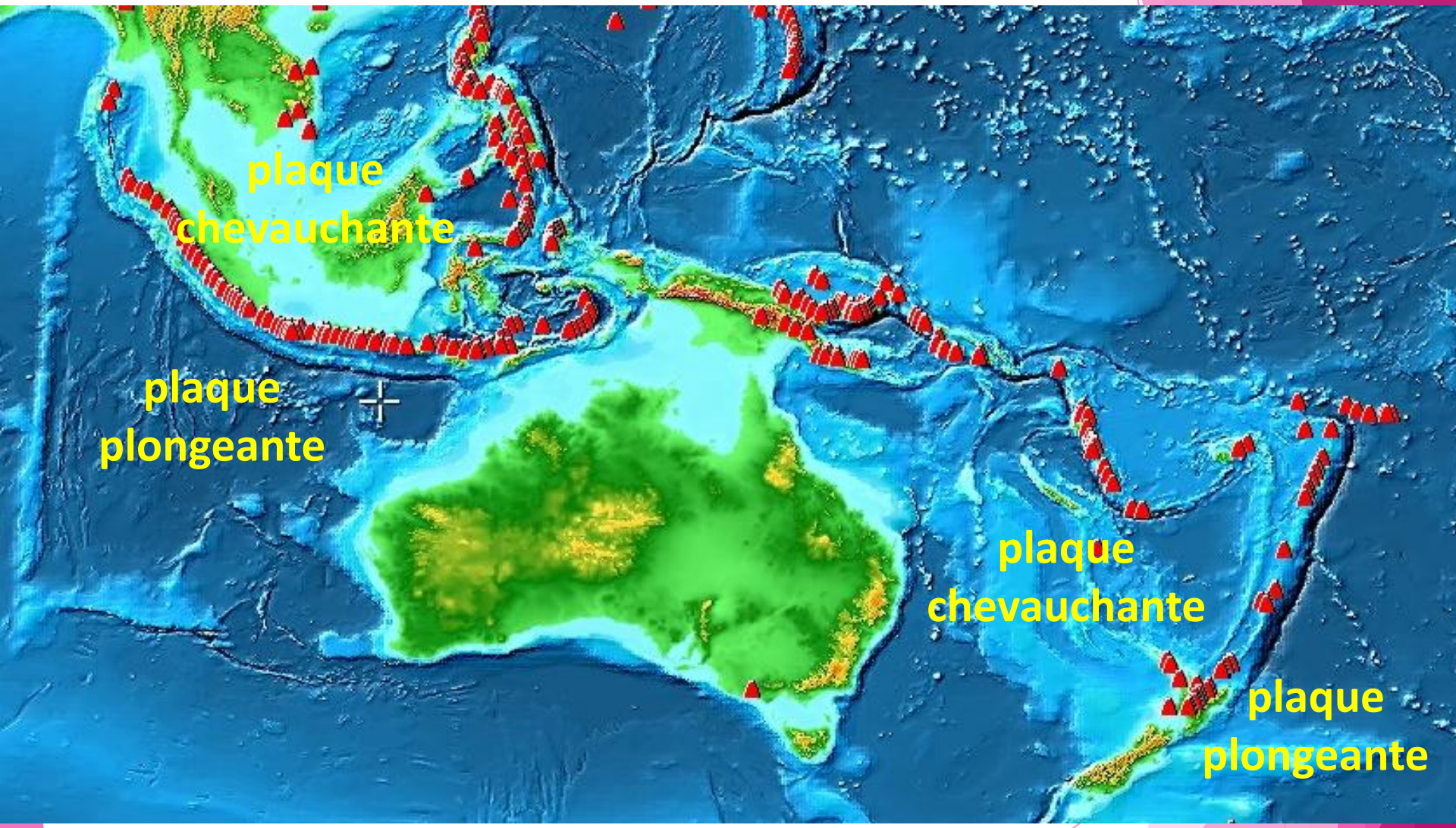
Act les marqueurs de la subduction

- Le magmatisme des zones de subduction

Le magmatisme des zones de subduction

La répartition mondiale des volcans




plaque
chevauchante
plaque
plongeante
plaque
chevauchante
plaque
plongeante

Problème

Quelle est l'origine des alignements volcaniques parallèles aux fosses océaniques sur le bord de la plaque chevauchante ?
Quelles roches sont formées dans ces zones ?

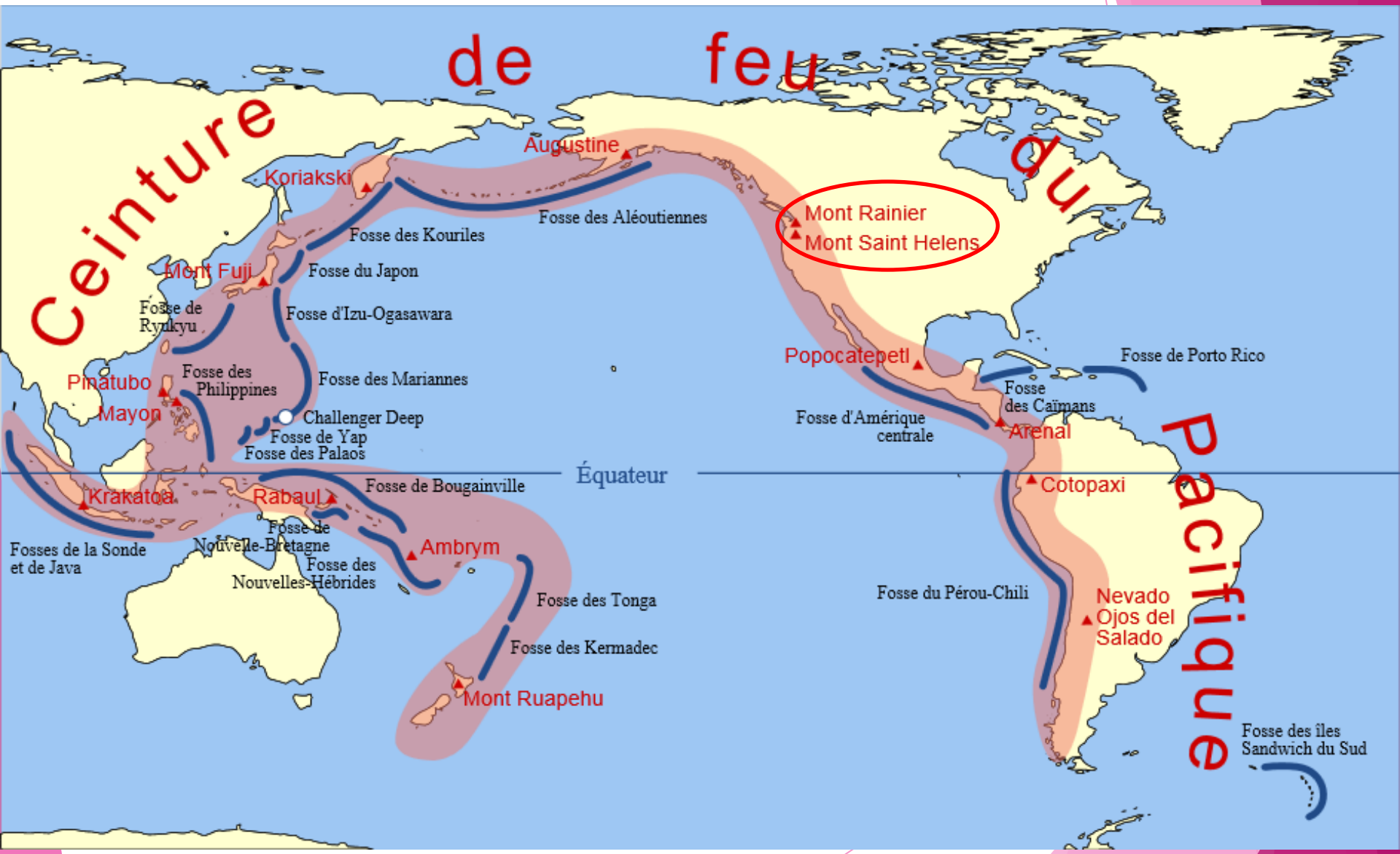
1) Les caractéristiques du magmatisme de subduction

https://youtu.be/aVqC1nBjI_o
https://youtu.be/dY_3ggKg0Bc

Le Mont St-Helens (États-Unis,1980)

http://www.visite-usa.fr/parcs/helens.htm

Le Mont St-Helens (États-Unis,1980)

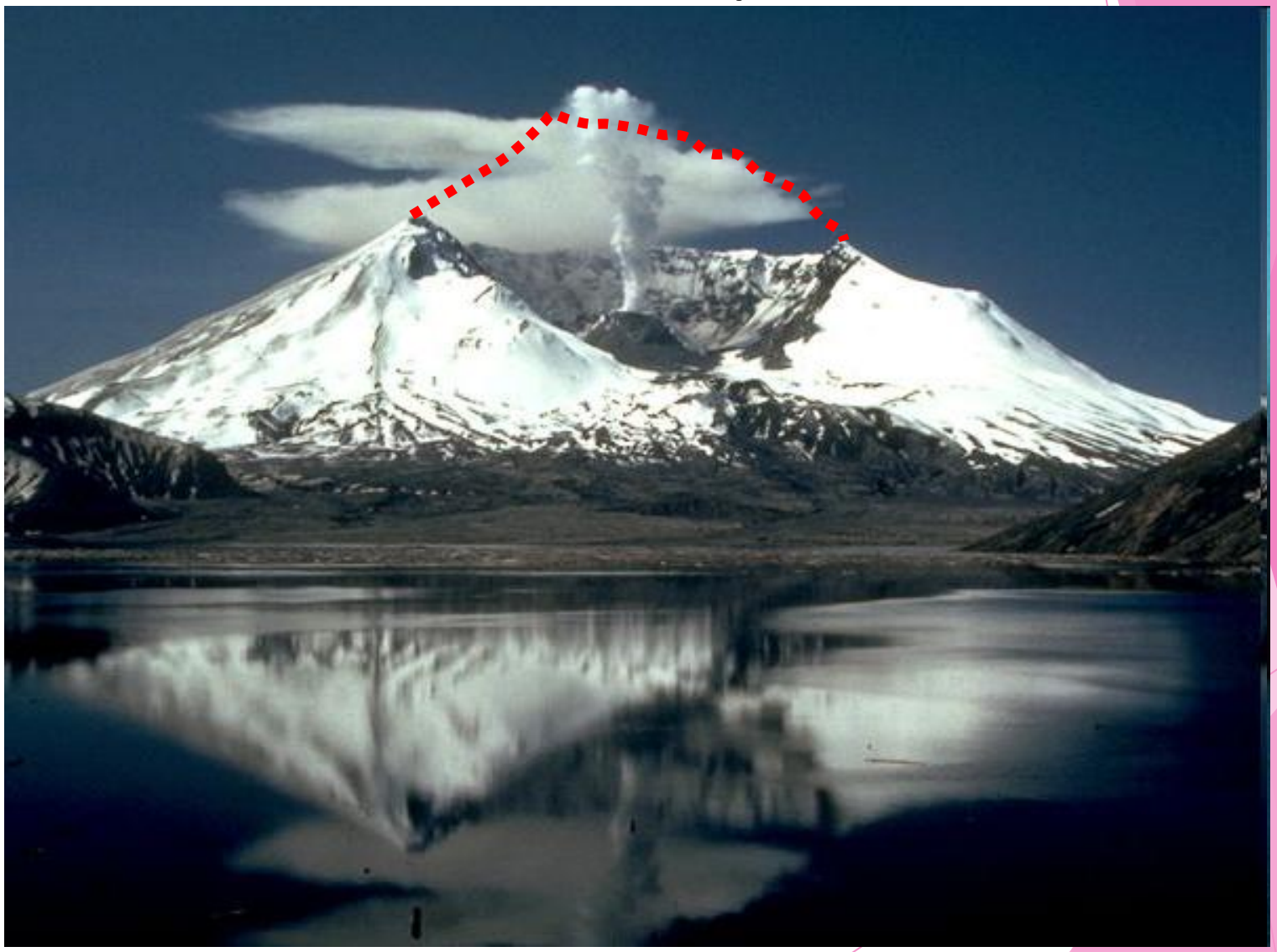


Au moment de l’explosion : 18 mai 1980 (8h32)

Après l'explosion

57 morts, 380 km^2 de forêts remplacés par des collines arides

Avant et … après



Volcan Mérapi (île de Java, Indonésie, 2010)

Un volcanisme explosif et destructeur (343 morts)

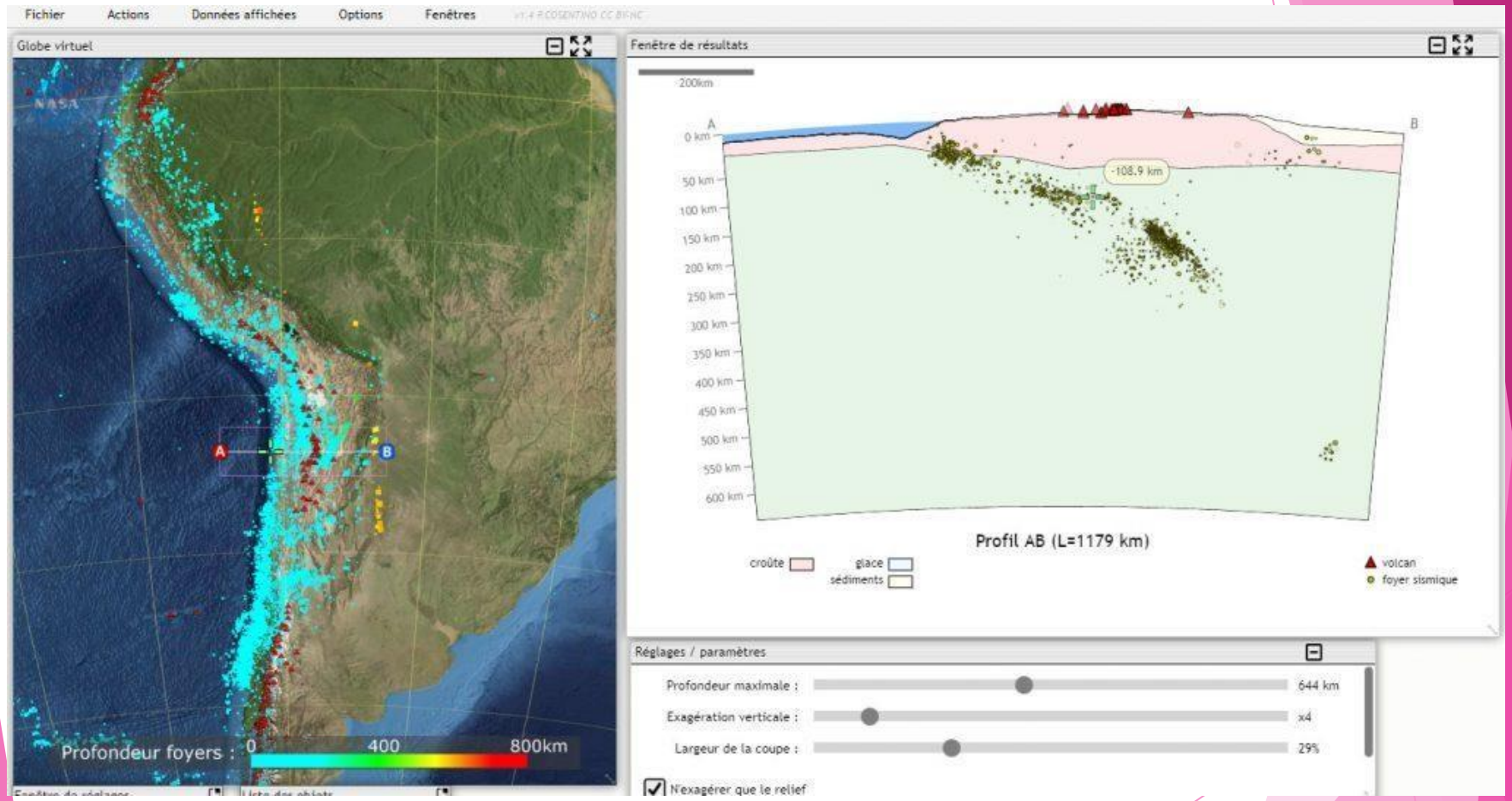
Une nuée ardente

Avalanche de fragments solides (scories, cendres) de gaz et de vapeur d'eau
400°C
300 à 400 km/h

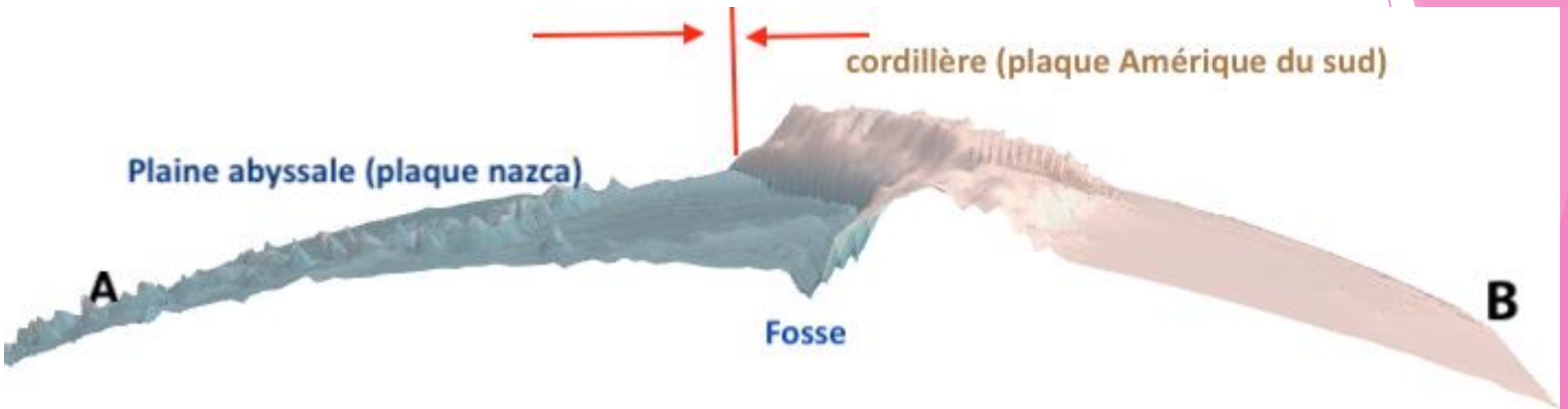
Après l'éruption

https://www.lexpress.fr

Des roches plutoniques en profondeur


Fichier
Actions
Données affichées
Options
Fenêtres
Globe virtuel
NASA
A
B
Profondeur foyers :
0
400
800km
Fenêtre de résultats
200km
A
B
0 km
50 km
100 km
150 km
200 km
250 km
300 km
350 km
400 km
450 km
500 km
550 km
600 km
108.9 km
Profil AB (L=1179 km)
croûte
glace
sédiments
volcan
foyer sismique
Réglages / paramètres
Profondeur maximale :
644 km
Exagération verticale :
x4
Largeur de la coupe :
29%
N'exagérer que le relief

Une zone avec un relief particulier



Bloc diagramme
correspondant au profil AB (L=5061 km)

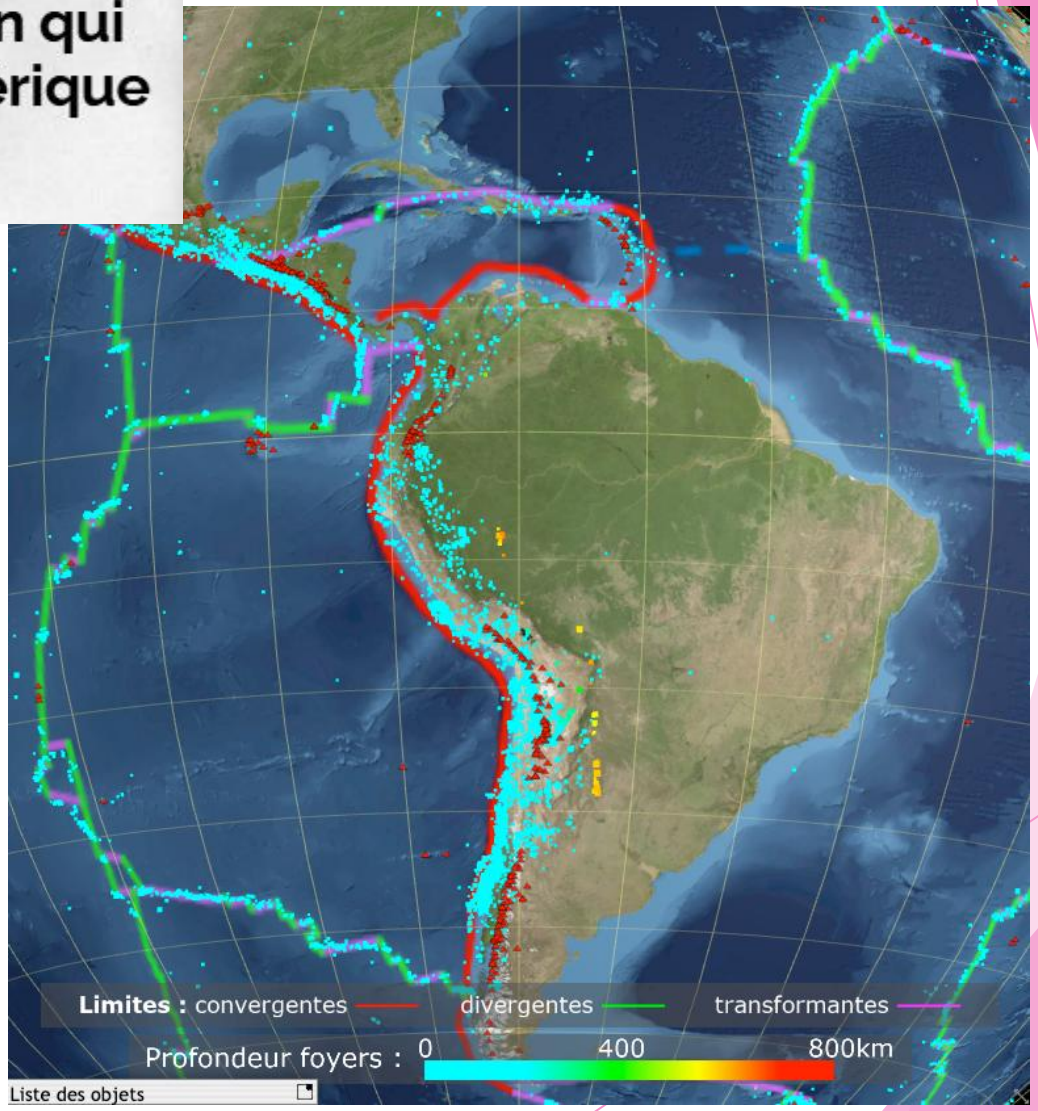
Une zone montagneuse avec un volcanisme explosif

https://youtu.be/sILvsrU9dbk

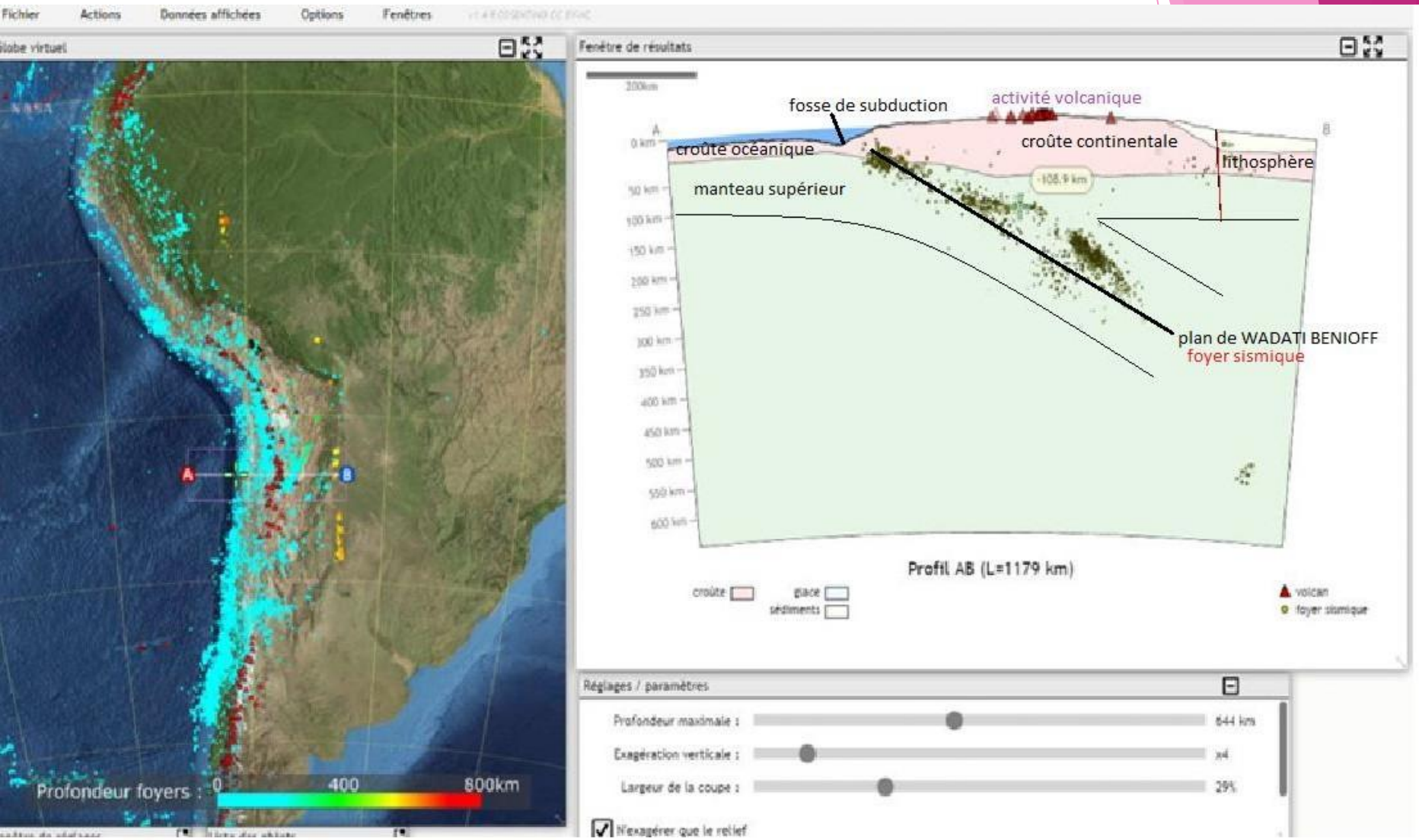
- des séismes

- superficiels
- moyens
- profonds

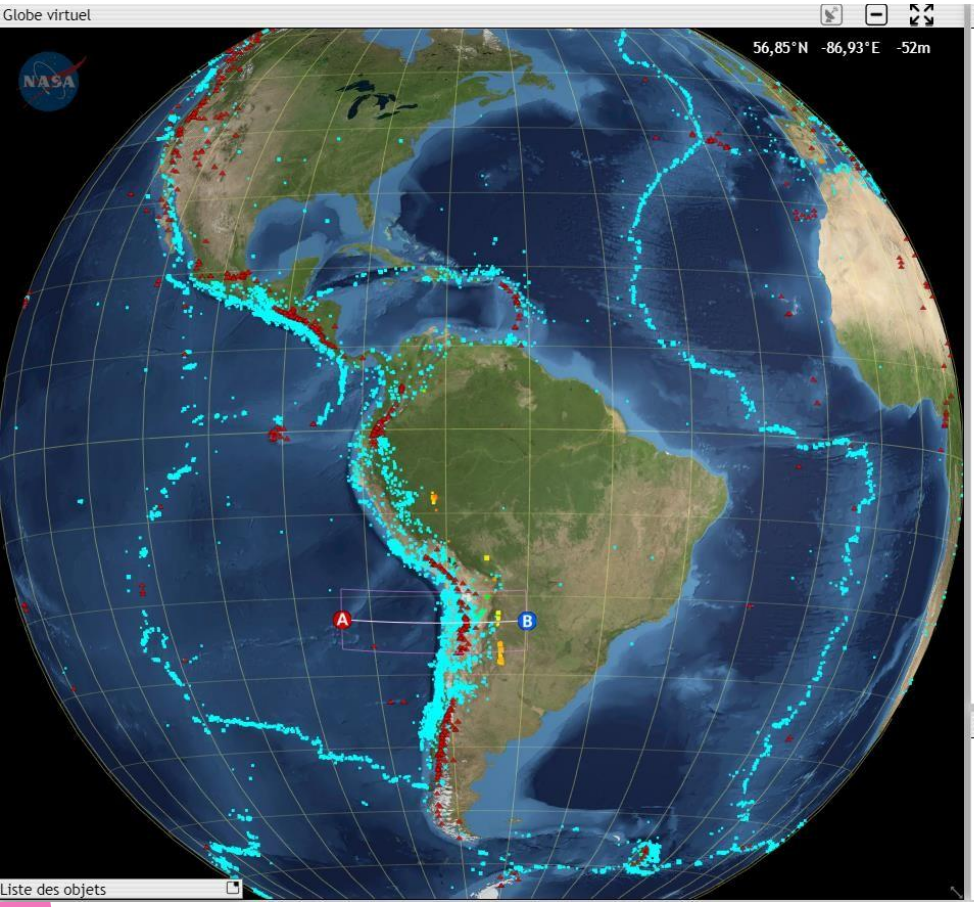
alignés sur un plan qui plonge sous l'amérique du sud

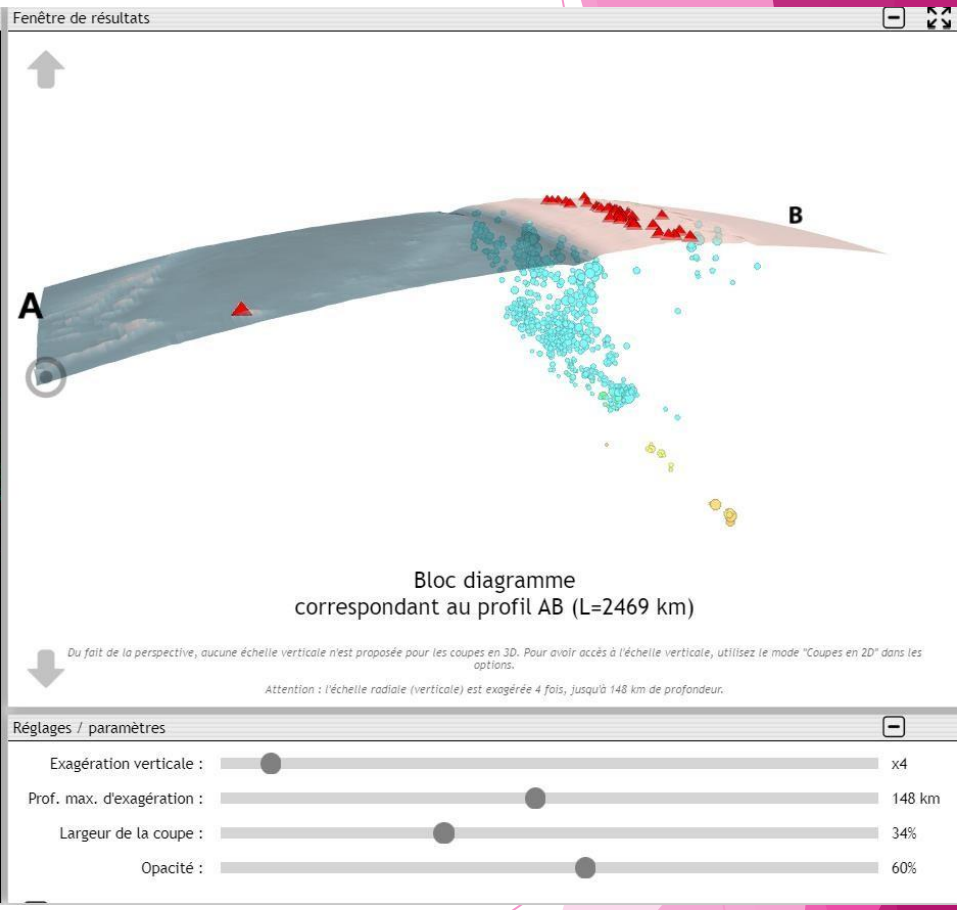


Coupe légendée.

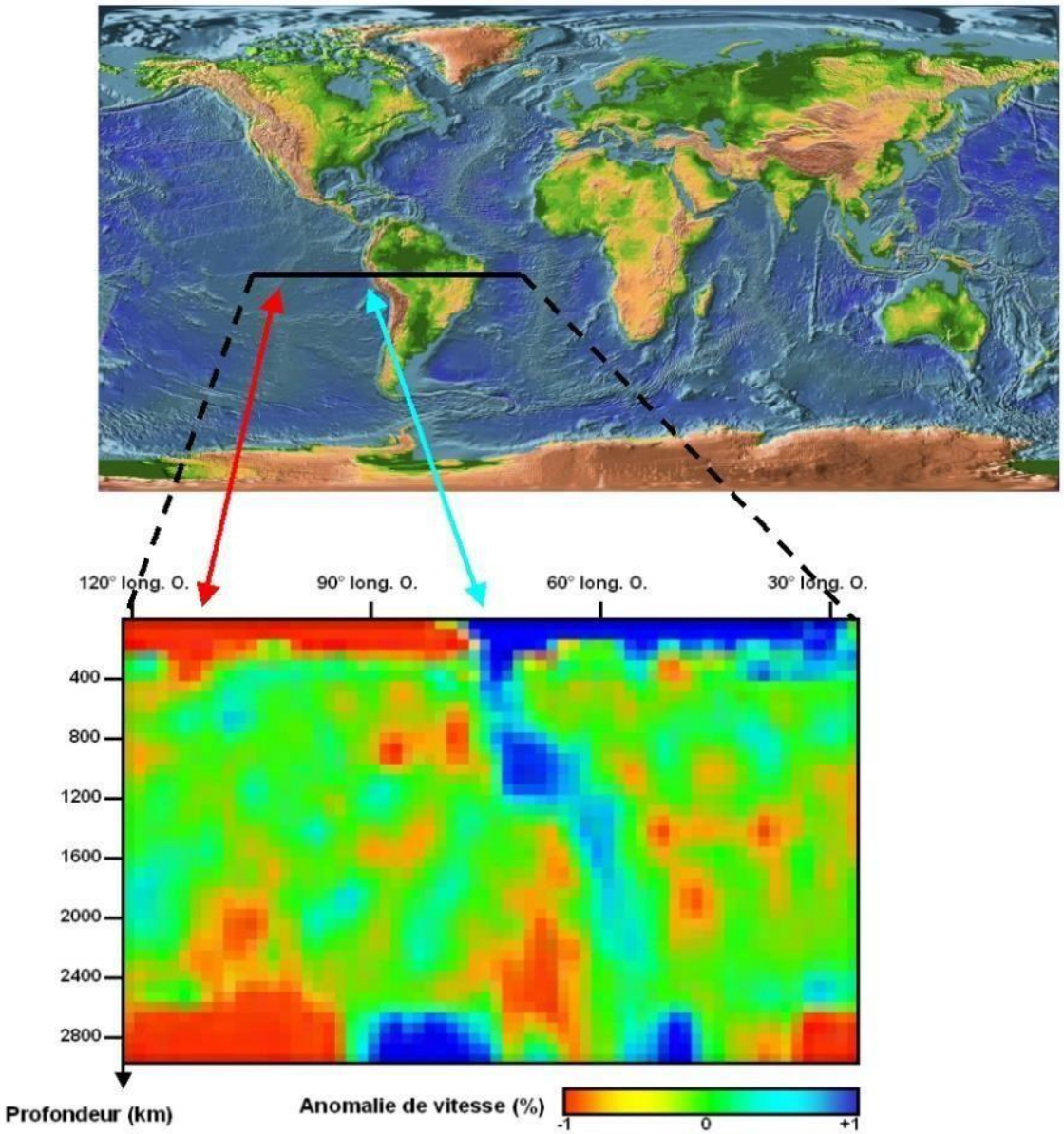


En 3D


Globe virtuel
56,85°N -86,93°E -52m
A
B
Liste des objets

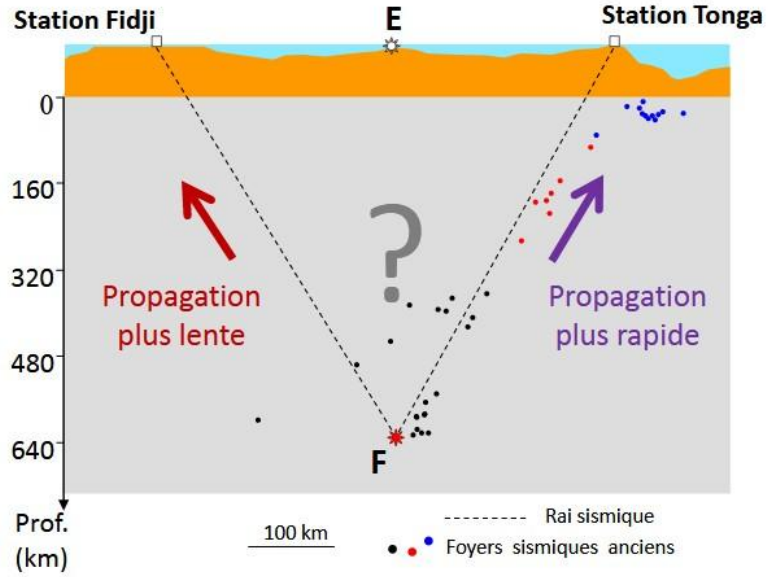

Fenêtre de résultats
A
B
Bloc diagramme
correspondant au profil AB (L=2469 km)
Du fait de la perspective, aucune échelle verticale n'est proposée pour les coupes en 3D. Pour avoir accès à l'échelle verticale, utilisez le mode "Coupes en 2D" dans les options.
Attention : l'échelle radiale (verticale) est exagérée 4 fois, jusqu'à 148 km de profondeur.
Réglages / paramètres
Exagération verticale : x4
Prof. max. d'exagération : 148 km
Largeur de la coupe : 34%
Opacité : 60%

Données thermiques



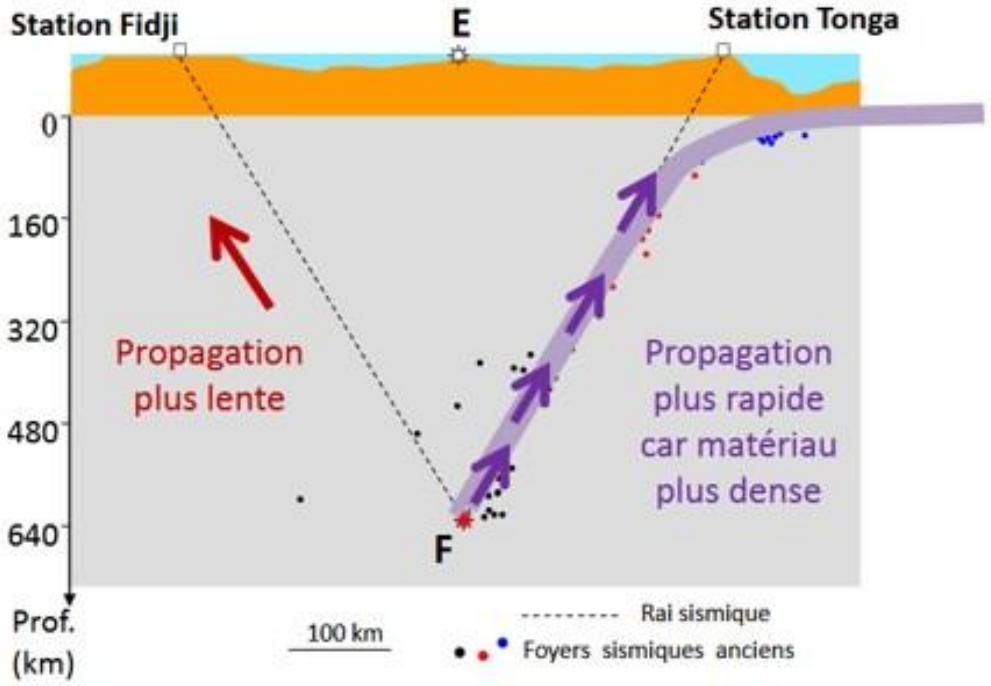
Interprétation et histoire des sciences

- RAPPEL : étude de la propagation des ondes sismiques
- En 1964, trois sismologues américains, Jack Oliver, Bryan Isacks et Lynn Sykes, examinent l'activité sismique au niveau de la fosse des îles Tonga, dans le Pacifique sud
- Ils enregistrent les ondes sismiques produites par un séisme profond dont l'épicentre se trouve à égale distance des stations sismiques Fidji et Tonga (voir ci-contre). Ils observent que les ondes P par- viennent deux secondes plus tôt à la station Tonga qu'à la station Fidji.



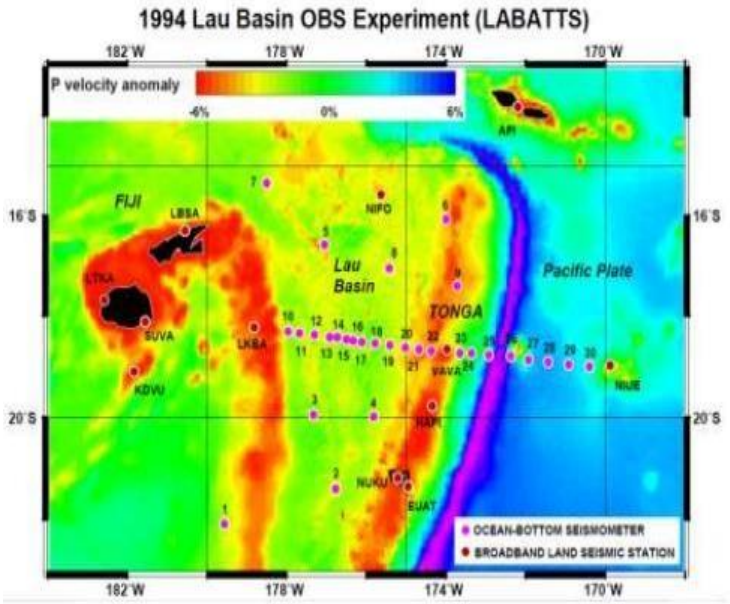
Lors de l'enregistrement des ondes d'un **séisme profond** dont l'épicentre E est situé à égale distance de 2 stations d'enregistrement (**Fidji** et **Tonga**), on constate que les ondes P arrivent 2 sec. **plus tard** à la station Fidji qu'à la station Tonga.

- Aides ou « coup de pouces » : pour retrouver la relation entre les données sismiques de 1964 et les données tomographiques

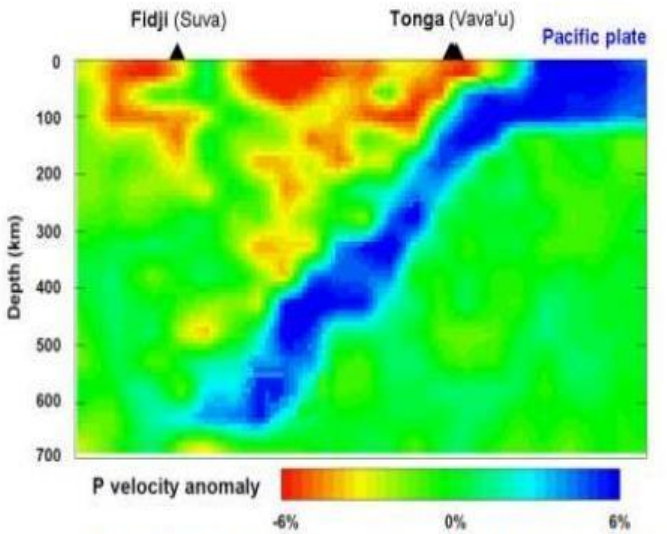


L'anomalie positive de vitesse des ondes parcoutant le trajet F → Tonga est interprété par l'existence d'un matériau **froid et dense** (lithosphère océanique) qui plonge par **subduction** dans l'asthénosphère plus ductile.

- -RAPPEL : la tomographie sismique.
- La tomographie sismique permet de cartographier des régions du manteau où la vitesse des ondes sismiques est anormale par rapport à la propagation moyenne. La densité des matériaux dépend de la température. La vitesse de propagation des ondes est inférieure dans un matériau peu dense et est supérieure dans un matériau dense. Les écarts, exprimés en pourcentage, traduisent des variations importantes de température. On associe les régions où les vitesses sont lentes aux régions chaudes; celles où les vitesses des ondes sont rapides aux régions froides.

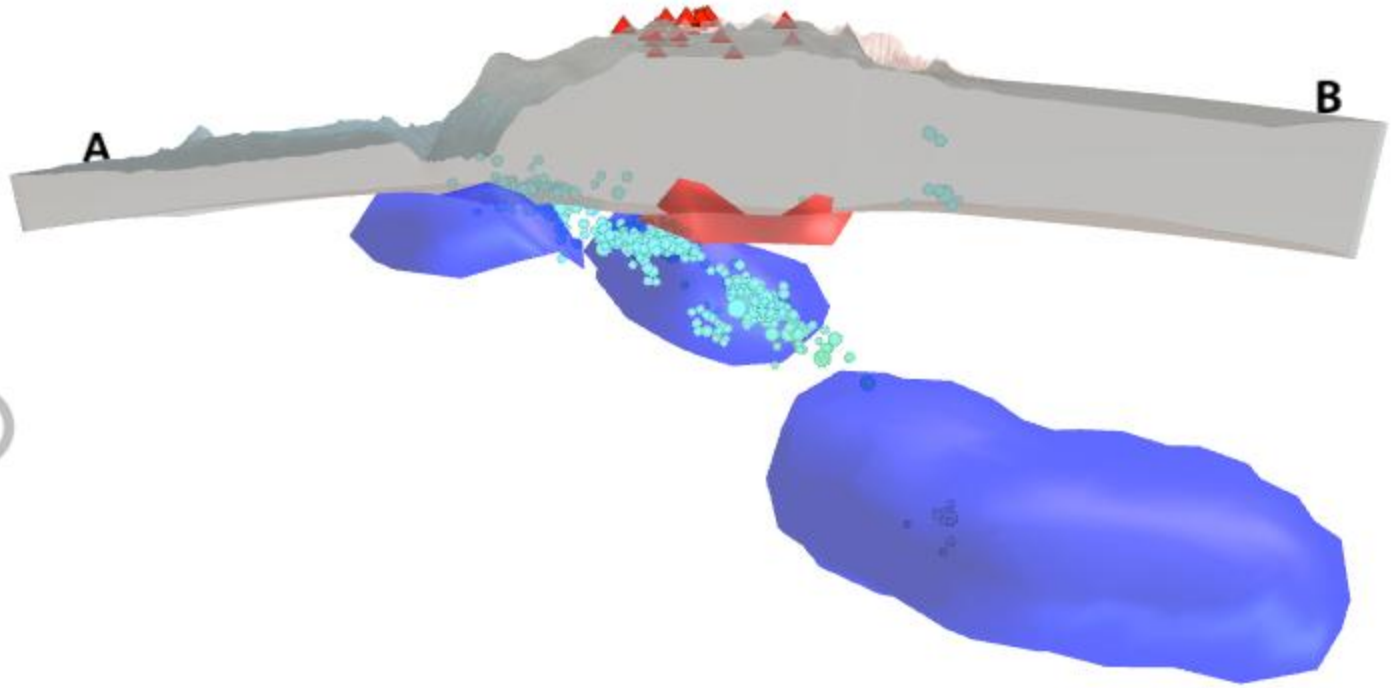


D'après Zhao et al., 1997



Idem vu en coupe. Image obtenue en 1997 par le traitement d'environ 926 séismes.

La forme bleue correspond à des anomalies de vitesse positives, supérieures à +1.5%.
La forme rouge correspond à des anomalies de vitesse négatives, inférieures à -2%.

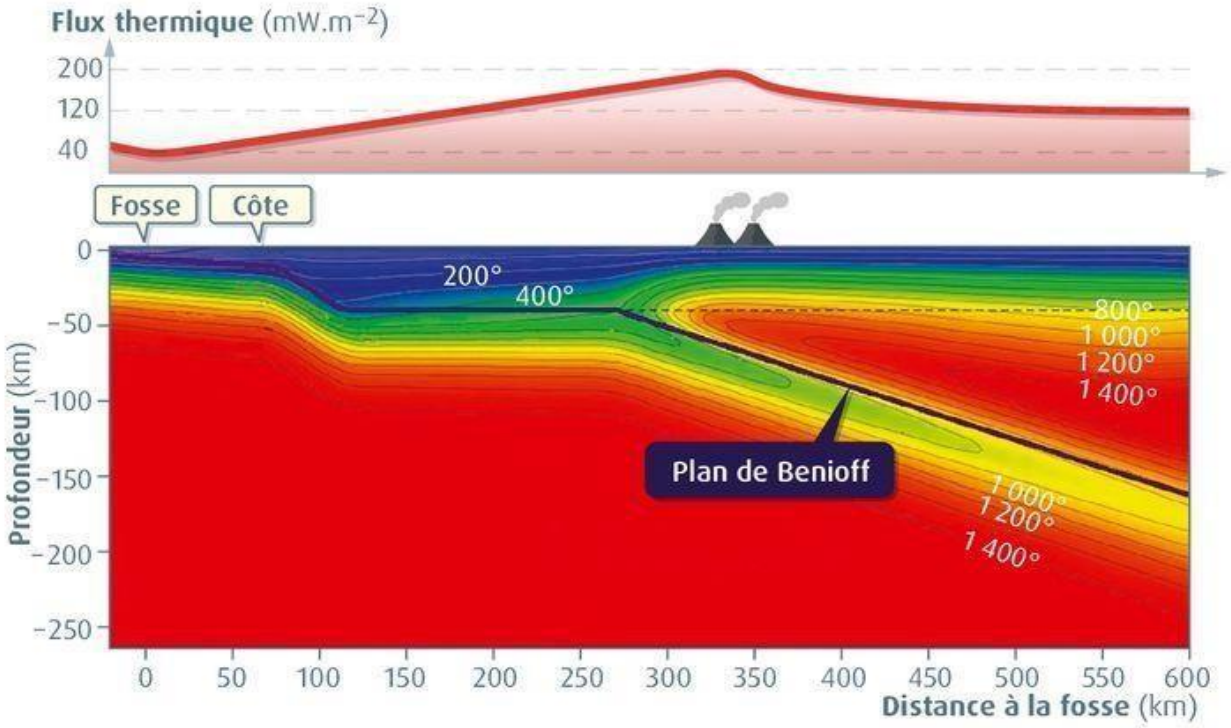


Profil tomographique 3D correspondant au profil AB (L=1897 km)

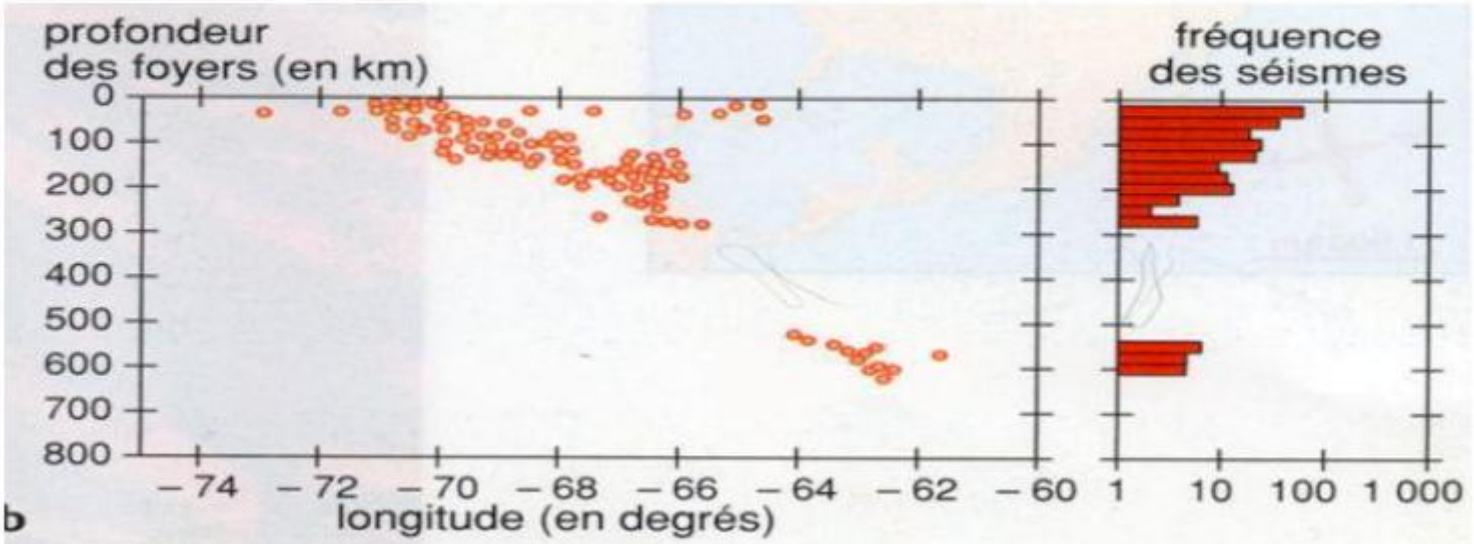
Du fait de la perspective, aucune échelle verticale n'est proposée pour les coupes en 3D. Pour avoir accès à l'échelle verticale, utilisez le mode "Coupes en 2D" dans les options.

Attention : l'échelle radiale (verticale) est exagérée 16.6 fois, jusqu'à 9 km de profondeur.

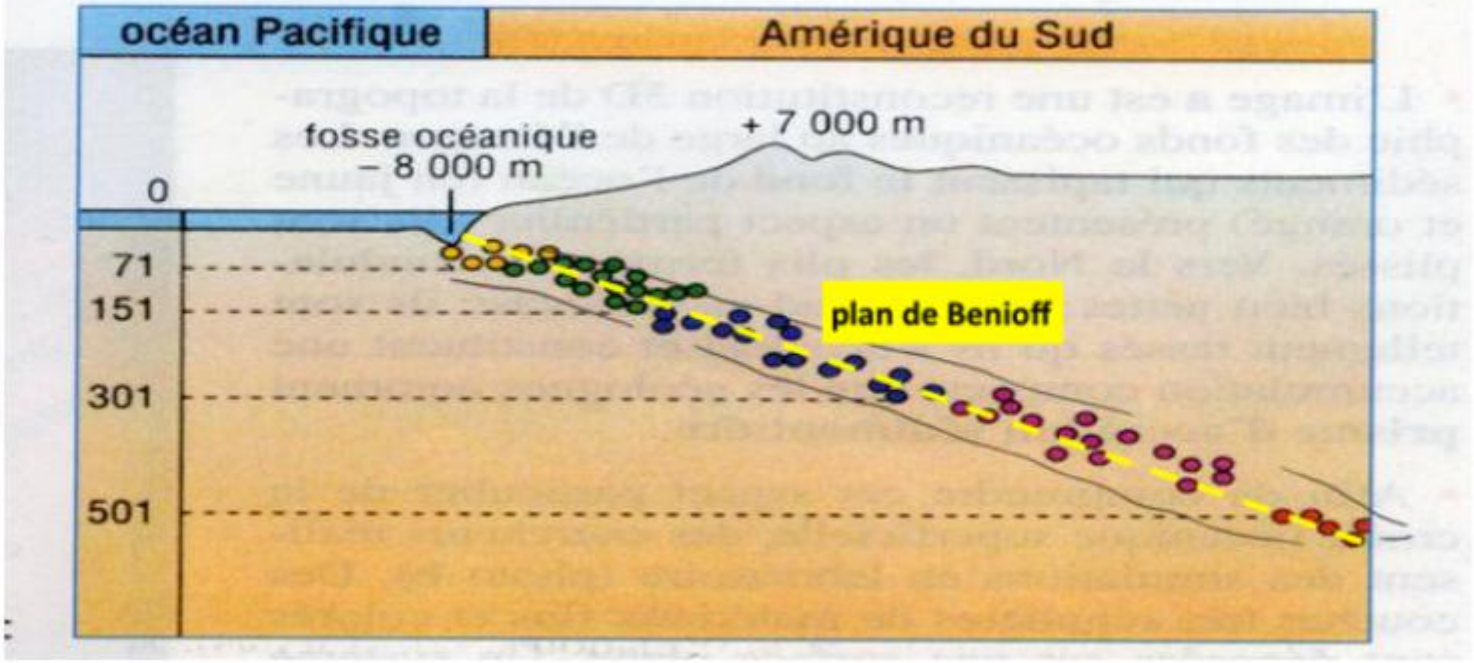
Interprétations du doc du livre /attention au sens de la subduction par rapport à l'exemple d'avant



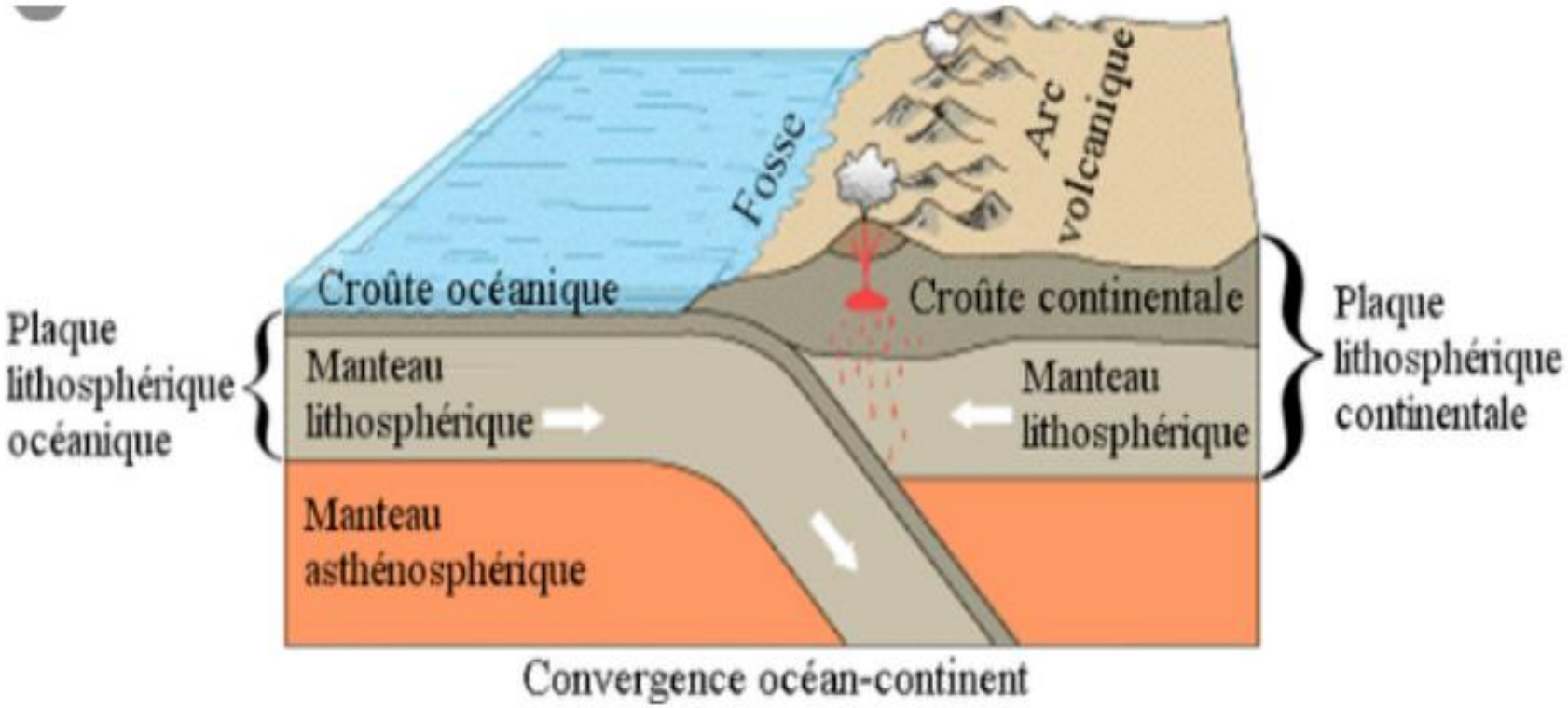
Ligne virtuelle reliant les foyers des séismes.



b



un séisme nécessitant un milieu cassant, ce plan matérialise **le plongement d'un matériel froid et cassant, le long duquel se sont déroulés les séismes** : le plongement de la plaque Nazca, dense et froide sous la plaque d'Amérique du Sud



Convergence océan-continent

Conclusion :

- On observe au niveau d'une zone de subduction, une tomographie sismique particulière mettant en évidence la plongée d'une lithosphère sous un autre :

- Sous la plaque chevauchante, on observe une zone d'accélération des ondes sismiques qui s'enfonce obliquement (bleu), témoin d'un matériau plus dense et froid plongeant dans l'asthénosphère
- Au-dessus de ce plongement, on observe un ralentissement des ondes (rouge) témoin d'un matériau moins dense et plus chaud = le magmatisme des zones de subduction.

- Des foyers de séismes y sont de plus en plus profonds le long d'un plan (Wadati- Benioff) représentant la LO qui plonge.

- Enfin, la bathymétrie et le flux géothermique y sont particuliers également : au niveau de la fosse, la profondeur peut atteindre les 11 km et le flux thermiquey est plus bas que la moyenne sur Terre (40 mW.m-2 au lieu de 60 mW.m-2 en moyenne).

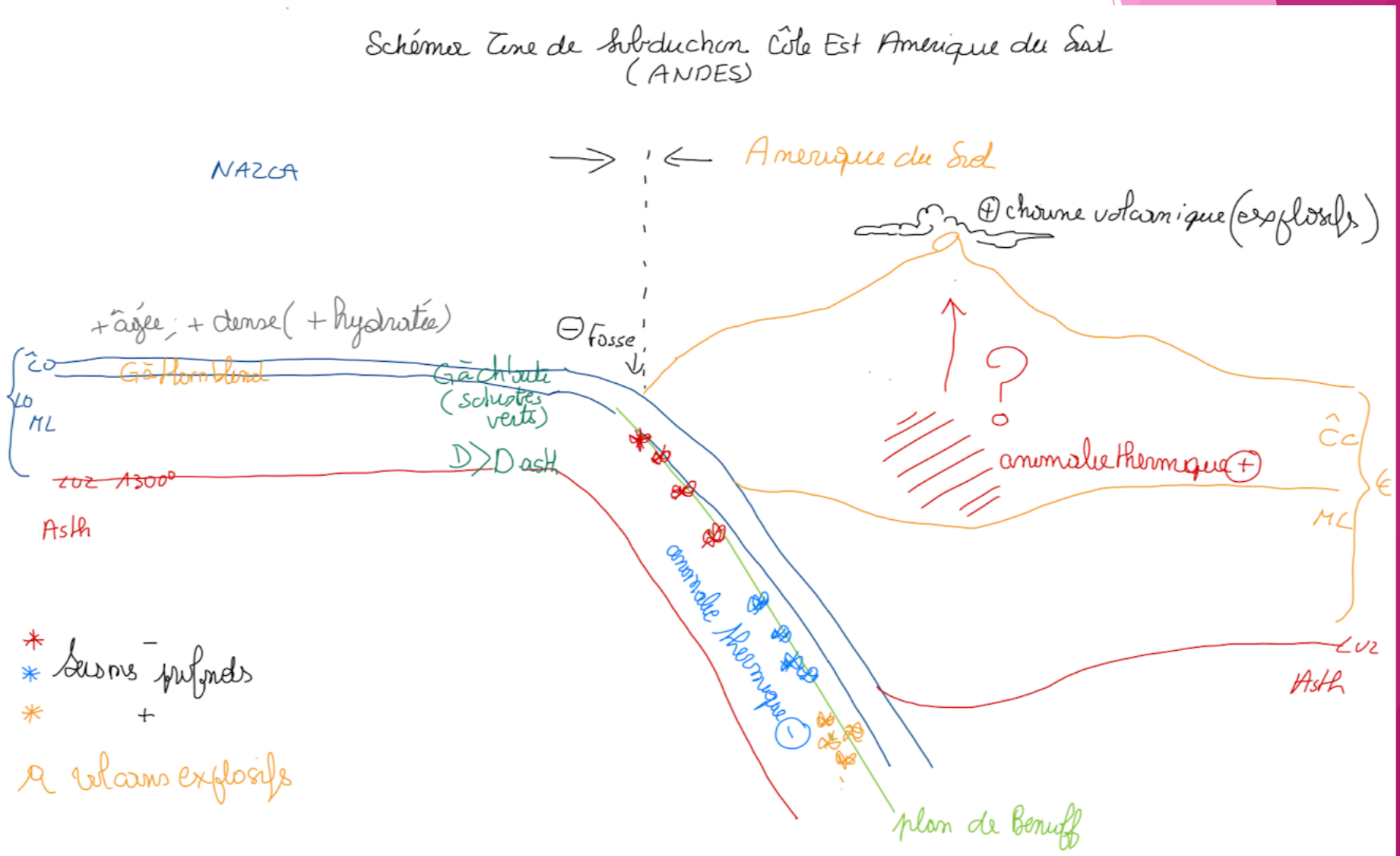
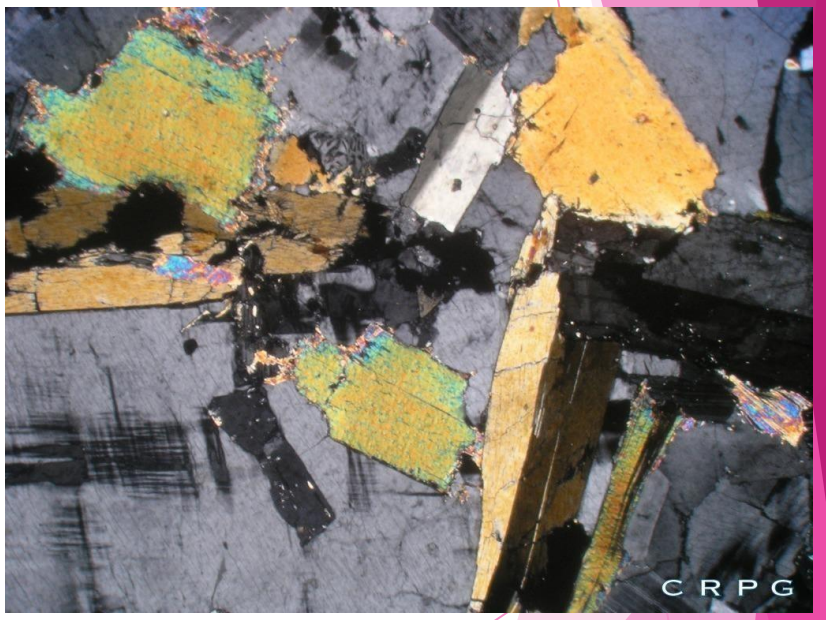
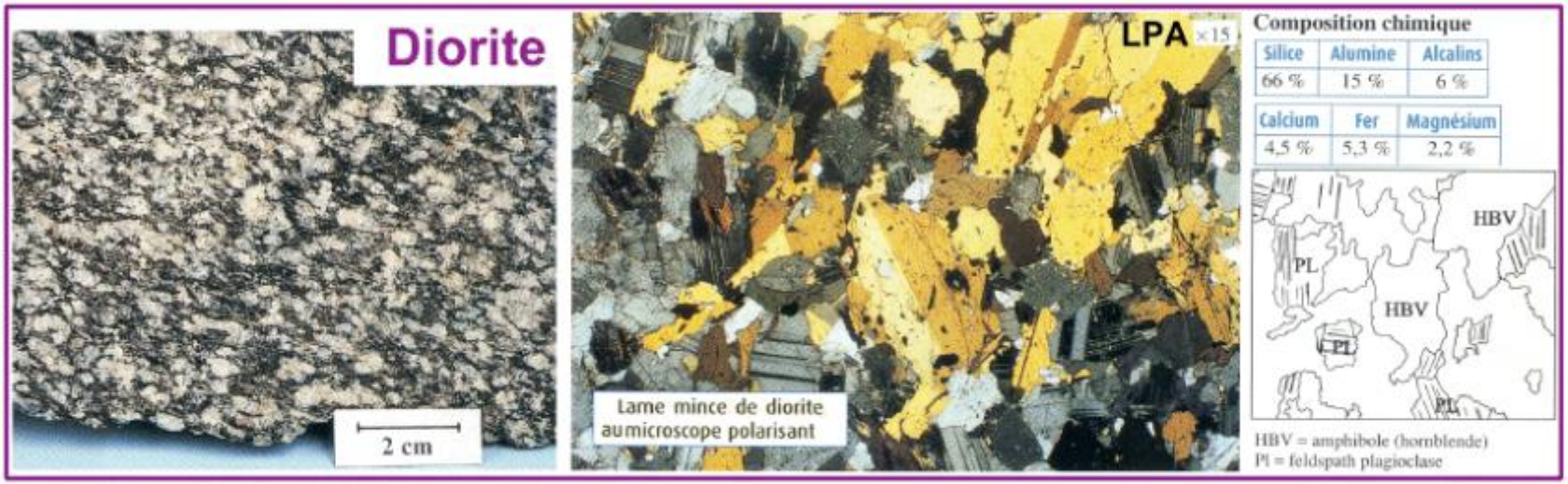


Schéma Zone de subduction Côte Est Amérique du Sud
(ANDES)
NAZCA
Amérique du Sud
⊕ chaine volcanique (explosifs)
+ âgée ; + dense (+ hydratée)
⊖ Fosse
Ĉo
Lo
ML
Gà Hornblende
Gà Haute (schistes verts)
D>>D asth
Lo2 A300°
Asth
anomalie thermique ⊕
Ĉc
ML
anomalie thermique ⊖
Lv2
Asth
plan de Benioff
* Séismes profonds
+
volcans explosifs

Activité 2 : Les roches des zones de subduction

Étude des roches des zones de subduction - granodiorite

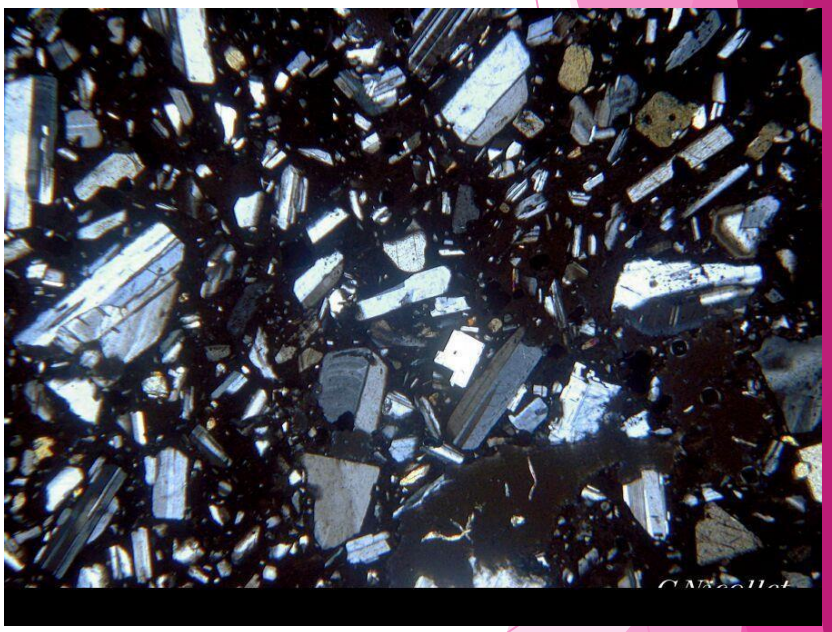



Diorite
2 cm
LPA ×15
Lame mince de diorite
au microscope polarisant
Composition chimique
Silice
Alumine
Alcalins
66 %
15 %
6 %
Calcium
Fer
Magnésium
4,5 %
5,3 %
2,2 %
HBV
PL
HBV
PL
PL
HBV = amphibole (hornblende)
Pl = feldspath plagioclase

Synthese granodiorite

- **La granodiorite :** structure grenue (= phénocristaux jointifs.)
- roche magmatique plutonique provenant d'un refroidissement lent en profondeur du magma.
- Les édifices mis en place sont des plutons.

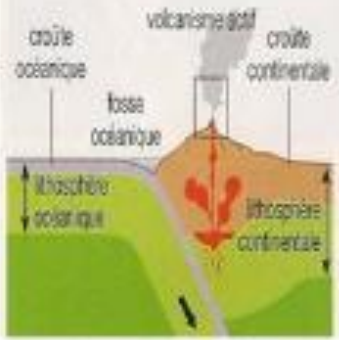
andésite



Synthèse andésite

- **L'andesite** : structure microlitique (=verre non cristallisé, microlites(plagioclases) et quelques phénocristaux (plagioclases, pyroxène, amphibole).
- roche magmatique volcanique provenant d'un refroidissement rapide du magma.
- Les édifices mis en place sont des volcans.

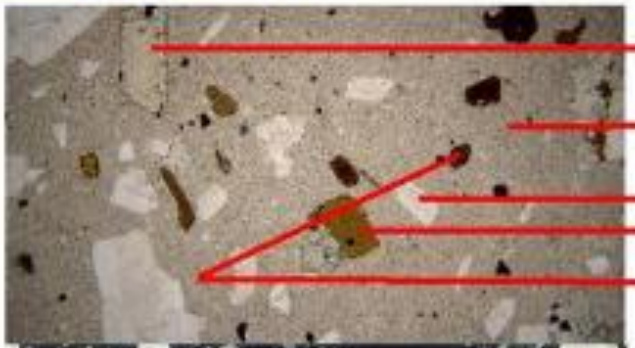
L'Andésite



Au niveau de l'arc volcanique, une quantité importante de lave visqueuse est produite à chaque éruption. Le refroidissement en surface de ces laves engendre la formation d'une grande diversité de roches qualifiées de volcaniques. Parmi celles-ci, l'andésite et la rhyolite sont caractéristiques des zones de subduction.

Bordas, Terminales S, 2012

http://svtlarde.pagesperso-orange.fr/page%2031%20fiche%20g%E9ol.htm



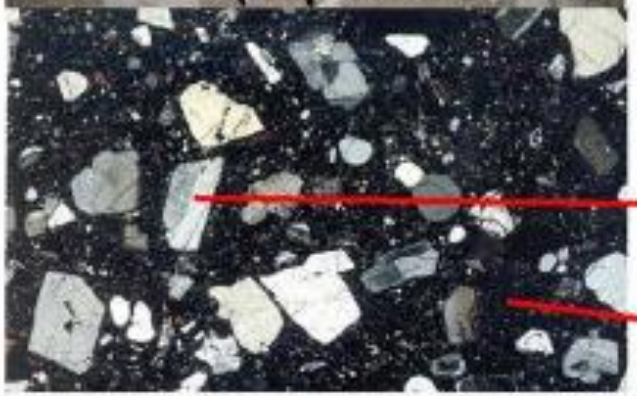


image en LPNA en haut
image en LPA en bas

http://svtlarde.pagesperso-orange.fr/page%2031%20fiche%20g%E9ol.htm

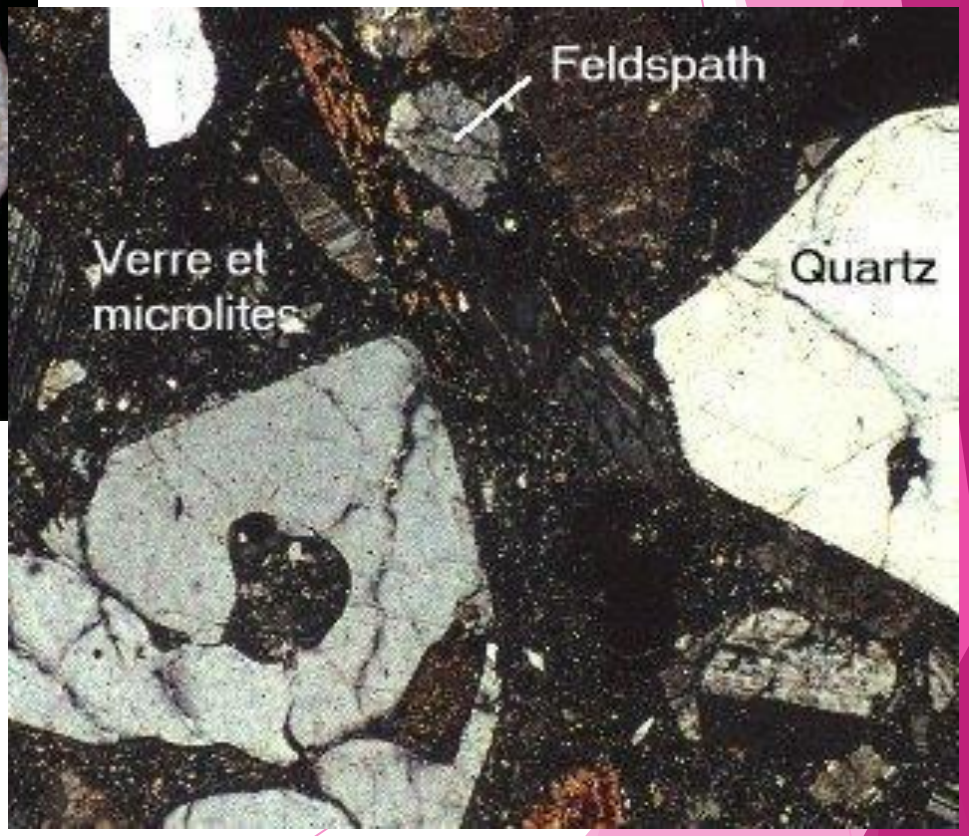
L'andésite

- Roche magmatique volcanique
- Structure microlitique
- Composition minéralogique :

– phénocristaux de plagioclases, d'amphiboles, de pyroxènes, de biotite ;
– microlites d'amphiboles et de plagioclases ;
– verre (partie non cristallisée).

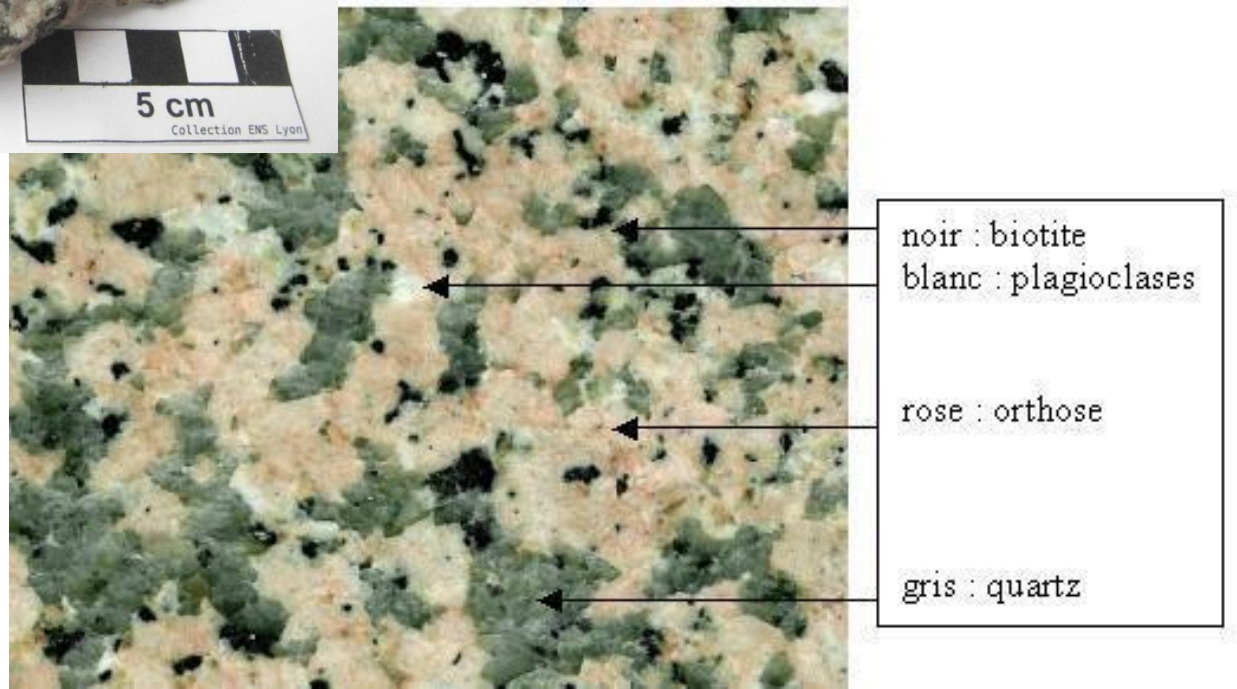
Bordas, Terminales S, 2012

La rhyolite



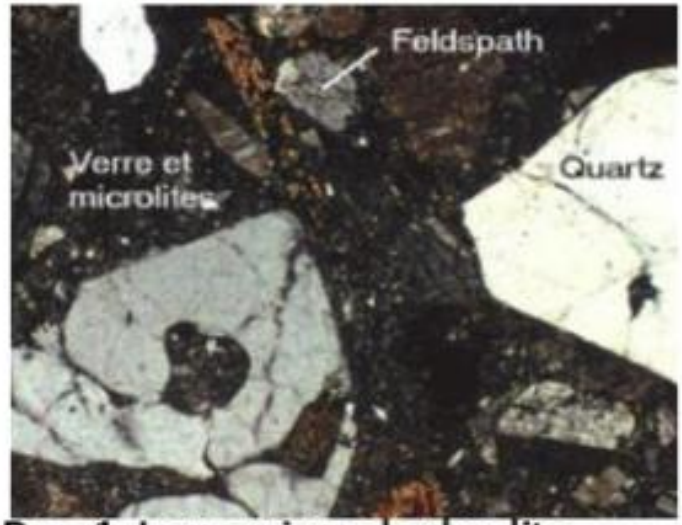
La granite

5 cm
Collection ENS Lyon

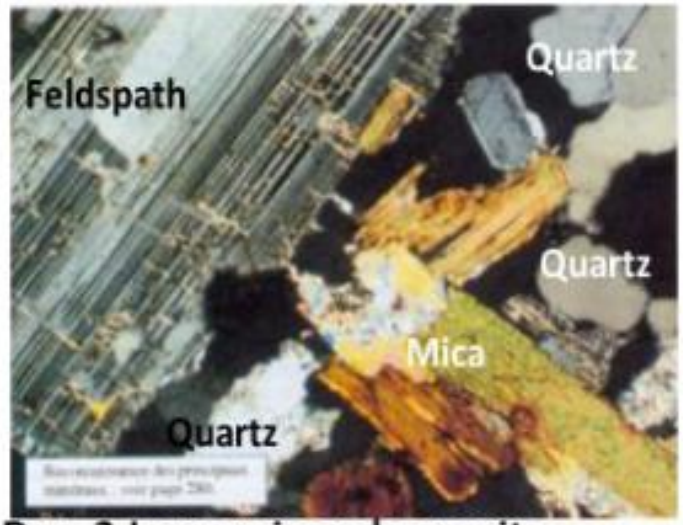

noir : biotite
blanc : plagioclases
rose : orthose
gris : quartz

Le granite est le résultat du refroidissement de poches de magma formant des plutons retenus en profondeur. Ces derniers finissent par affleurer suite à l'érosion décapant les roches sus-jacentes.

Par opposition, les roches volcaniques sont le résultat de la remontée en surface des magmas. La rhyolite est l'équivalent volcanique du granite.



Doc. 1 -Lame mince de rhyolite



Doc. 2-Lame mince de granite

Roches	Aspect à l'œil nu	Minéraux présents	Texture
Andésite	roche assez homogène, de couleur gris moyen, d'aspect mat, avec quelques cristaux noirs et blancs	Verre Microlites de forme allongée Plagioclases Amphiboles	**Microlitique**
Rhyolite	roche hétérogène avec de nombreux cristaux clairs noyés dans un verre de couleur rose foncé à grenat	Verre Microlites en forme de grains Quartz (gros cristaux) Plagioclases (assez rares) Mica noir (= biotite, assez rare)	**Microlitique**
Granite	roche brillante de couleur blanc-crème tacheté de noir	Quartz Plagioclases Mica noir (= biotite)	**Grenue**
Diorite	roche brillante constituée de cristaux noirs et blancs en proportions équivalentes	**Plagioclases** **Amphiboles** **Quartz (rare)** **Mica noir (= biotite, rare)**	**Grenue**

Grâce à vos connaissances, expliquez les différences de textures observées.

Les roches volcaniques (andésite, rhyolite) ont une texture microlitique car elles se sont refroidies rapidement en surface. Les roches plutoniques (granite, diorite) se sont refroidies lentement en profondeur, elles ont une texture grenue

Composition minéralogique des roches plutoniques des zones de subduction (en %)

	Granite (ou rhyolite*)	Diorite (ou andésite*)	Basalte (pour comparaison)
Quartz	30,5	–	–
Orthose	35,5	–	–
Plagioclases	14	60	50
Biotite, muscovite	10	5	–
Pyroxènes	–	12	25 à 40
Amphiboles	8	20	–
Olivine (péridot)	–	–	10 à 25
Magnétite (Fe_3O_4)	–	–	2 à 3

* Rhyolite et andésite présentent respectivement les mêmes minéraux que granite et diorite, mais sous forme de phénocristaux noyés dans du verre.

Composition chimique en oxydes (en %)

	SiO_2	Al_2O_3	FeO MgO	Na_2O K_2O	CaO	H_2O
Quartz	100	0	0	0	0	0
Orthose	66,67	11,11	0	22,22	0	0
Plagioclases	50.35	33,23	0	4,12	11,67	0
Biotite	35,3	5,88	35,3	11,76	0	11,76
Muscovite	46,1	23,1	0	15,4	0	15,4
Pyroxènes	50	0	50	0	0	0
Amphiboles	50	0	43,75	0	0	1,25

Formules chimiques des principaux minéraux

- Quartz : SiO_2
- Feldspath, orthose : $KAlSi_3O_8$
- Plagioclases : $CaAl_2Si_2O_8$; $NaAlSi_3O_8$
- Biotite (mica noir) : $K(Fe,Mg)_3AlSi_3O_{10}(OH)_2$
- Muscovite (mica blanc) : $KAl_2(AlSi_3O_{10})(OH)_2$
- Pyroxènes : $Ca(Fe,Mg)Si_2O_6$
- Amphiboles : $NaCa_2(Mg,Fe,Al)_5[(Si,Al)_8O_{22}](OH)_2$

Doc. 3 **Des roches riches en minéraux hydroxylés.**

Bilan :

- Tous les minéraux des roches magmatiques ne sont pas hydratés (exemple : le quartz) mais la plupart le sont comme la muscovite par exemple ; l'hydratation résulte de la présence de radicaux type radicaux hydroxyles (OH-)

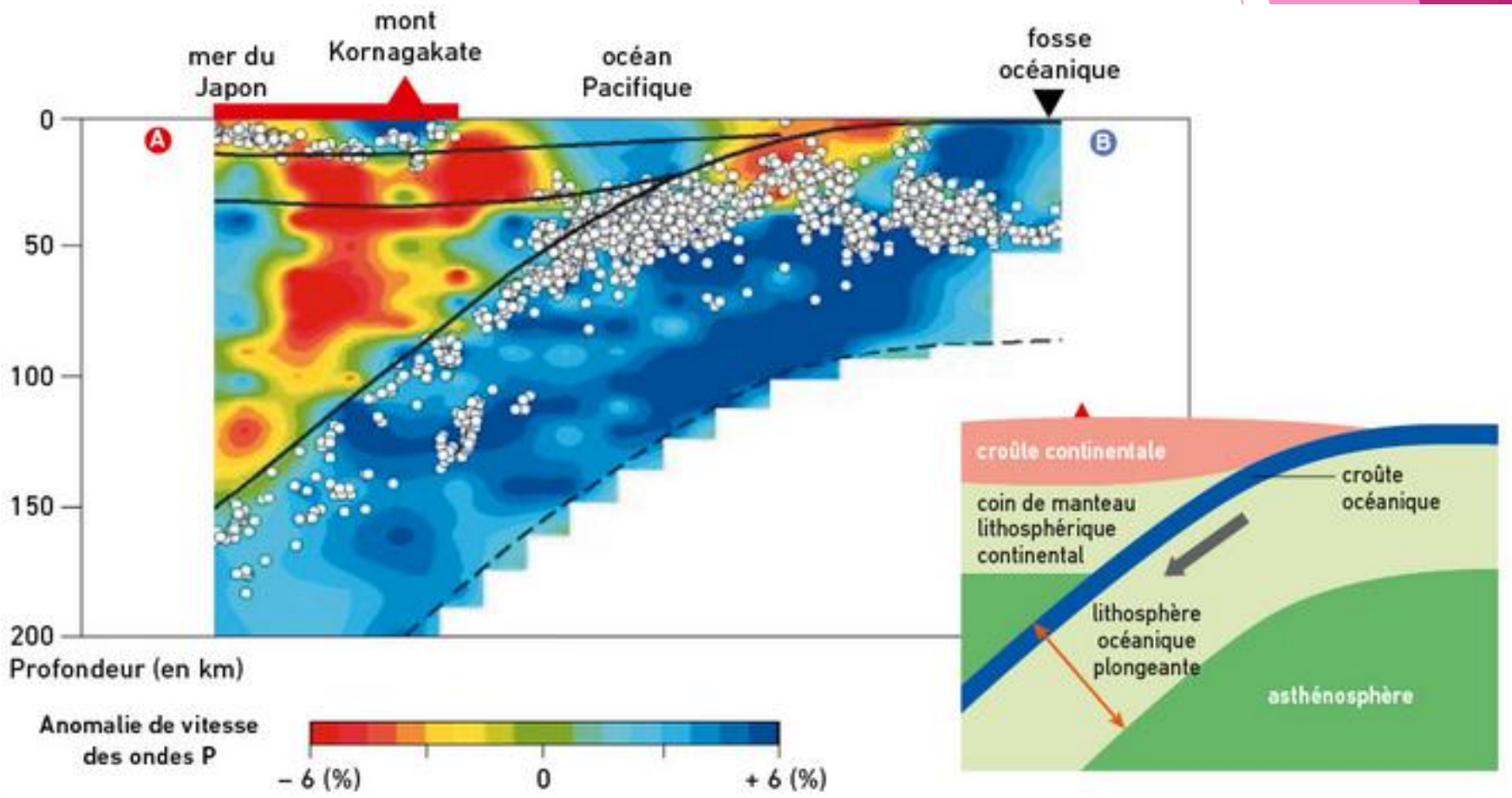
- On peut en déduire que les roches magmatiques proviennent d'un magma hydraté.

Activité 3 : la formation des magmas dans les zones de subduction .

Analyse du Doc.

- ***Rappels :***
- ***Géotherme***: courbe qui indique la T en fonction de la P en un point du globe
- ***Solidus***: droite ou courbe expérimentale qui sépare un domaine où les roches sont solides d'un domaineoù les roches sont solide + liquide.
- ***Liquidus***: sépare un domaine où les roches sont partiellement fondues d'un domaine 100% liquide.
- ***Comment expliquer alors la fusion partielle à l'origine du volcanisme dans une zone de subduction ?***

Sur l'image de tomographie sismique, localisez la zone de production du magma et nommez la roche qui subit la fusion partielle.



Document 1 page 220

Sur l'image de tomographie sismique, localisez la zone de production du magma et nommez la roche qui subit la fusion partielle.

Une zone anormalement chaude (caractérisée par un ralentissement des ondes P) est présente sous l'arc volcanique et au-dessus des séismes répartis selon le plan de Wadati-Bénioff. Le magma se forme donc dans le manteau de la plaque chevauchante vers 100 km de profondeur. Cette zone, nommée "coin de manteau" est constituée de péridotite qui doit donc subir une fusion partielle.

(étonnant !!! quand on pense qu'elle est en contact avec la croûte océanique froide de la plaque plongeante ???)

Et pourquoi les péridotites sont-elles hydratées ???

Rappel: quelques réactions métamorphiquesde quelques minéraux

Plagioclase + Hornblende + **eau** → Chlorite + Actinote

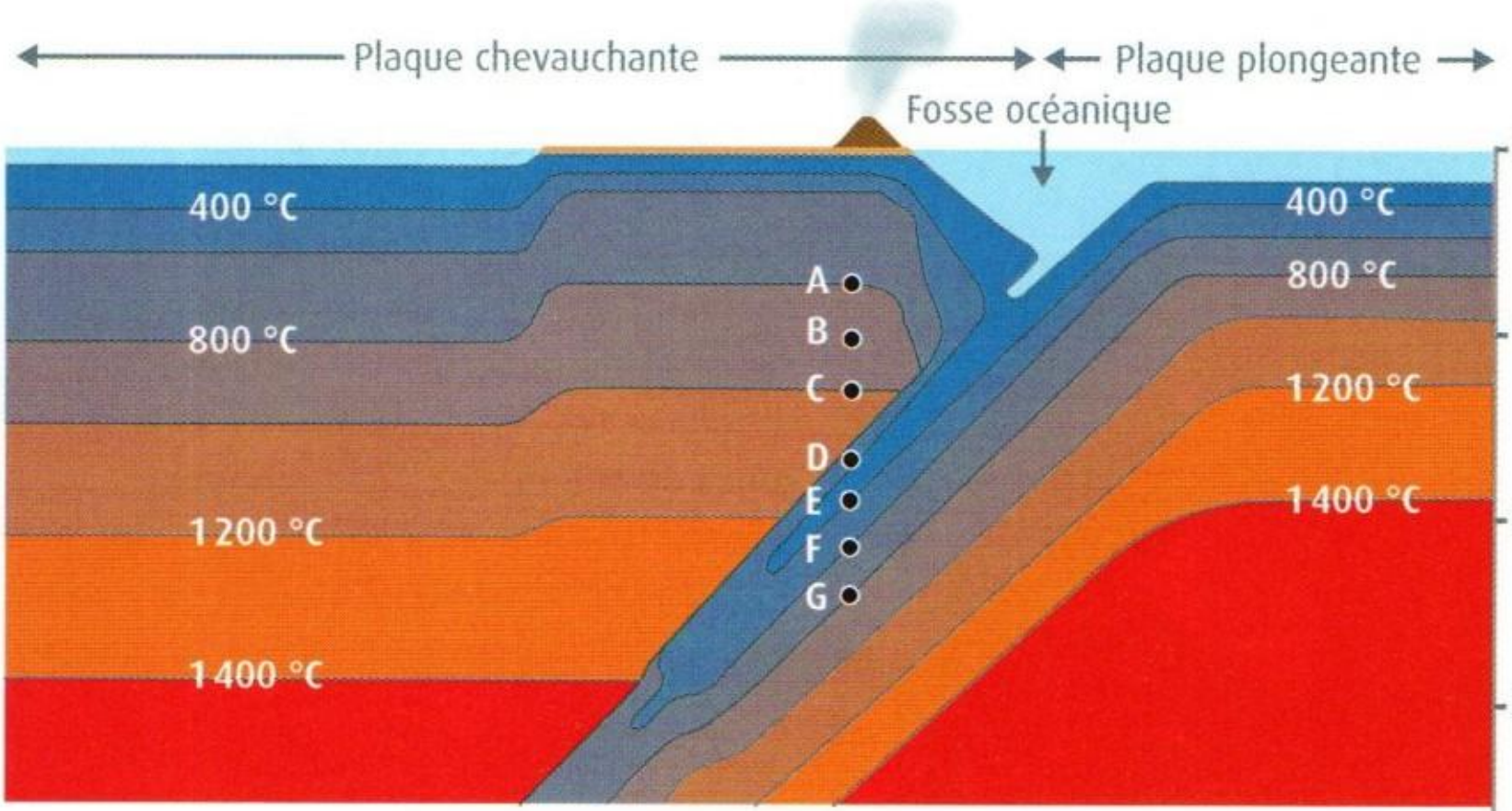
Albite + Chlorite + Actinote → Glaucophane + **eau**

Albite + Glaucophane → Grenat + Jadeite + **eau**

Facies	***Minéraux caractéristiques***	***Hydroxyles****
Schistes verts (SV)	Actinote, chlorite	oui
Schistes bleus(SB)	Glaucophane	non
Eclogites (Ec)	Grenat, jadeite	non
** l'eau peut-être présente dans les minéraux sous forme de radicaux hydroxyle (OH). On parle de minéraux hydroxylés*		

Comment les péridotites sont elles hydratées ?

- La plongée de la lithosphère océanique, en entrainant des transformations minéralogiques liées à l'augmentation de pression (SV → SB → Ec) provoque une déshydratation des minéraux des roches types schistes verts, schistes bleus et libération d'eau, de qui entraine une hydratation des péridotites situées au-dessus de plan de Benioff.



Manteau chevauchant

- A 800 °C/80 km
- B 900 °C/100 km
- C 1 000 °C/120 km

Croûte océanique

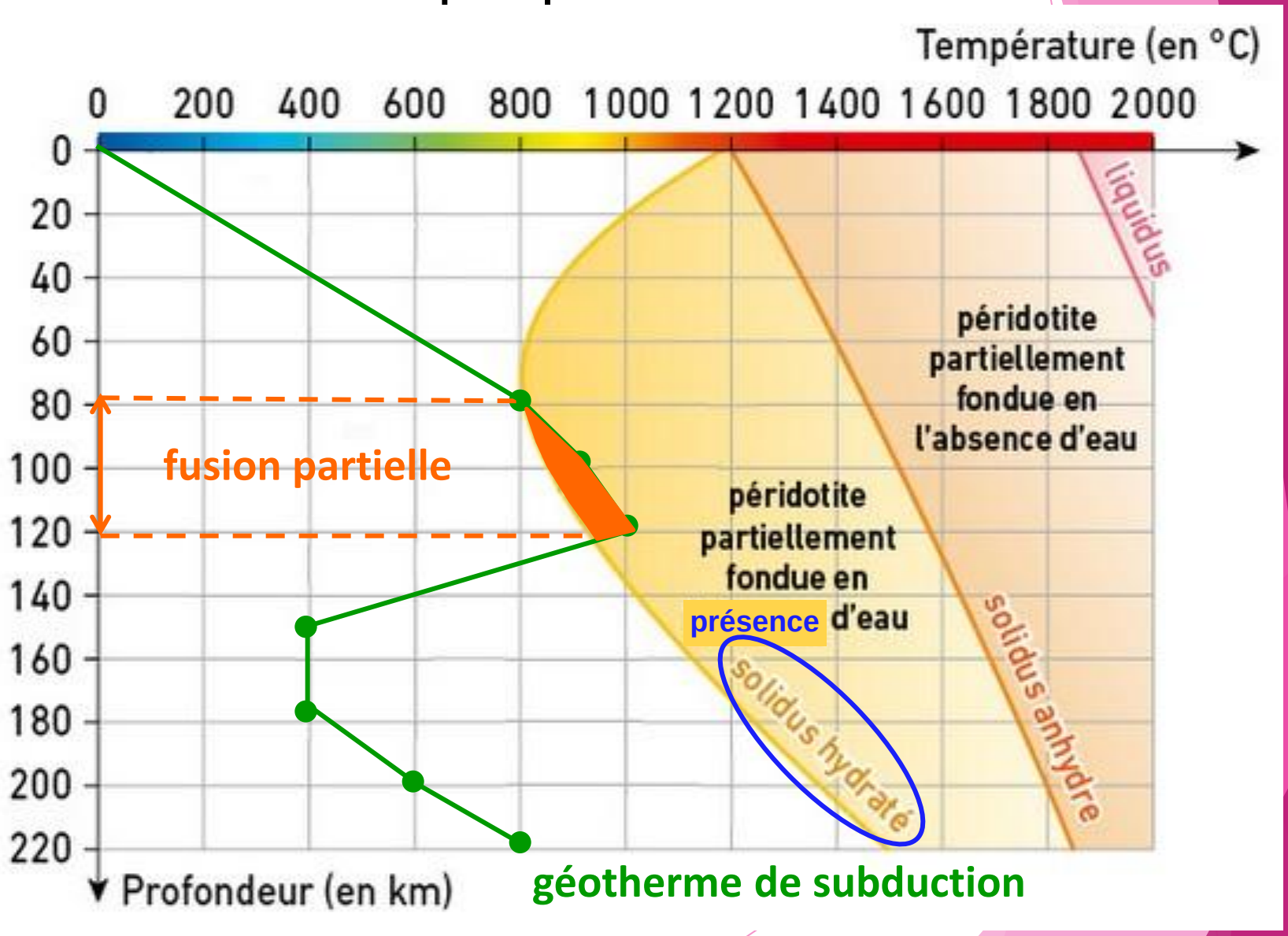
- D 400 °C/150 km

Manteau plongeant

- E 400 °C/180 km
- F 600 °C/200 km
- G 800 °C/220 km

—— Isothermes

La fusion partielle de la péridotite du coin de manteau de la plaque chevauchante



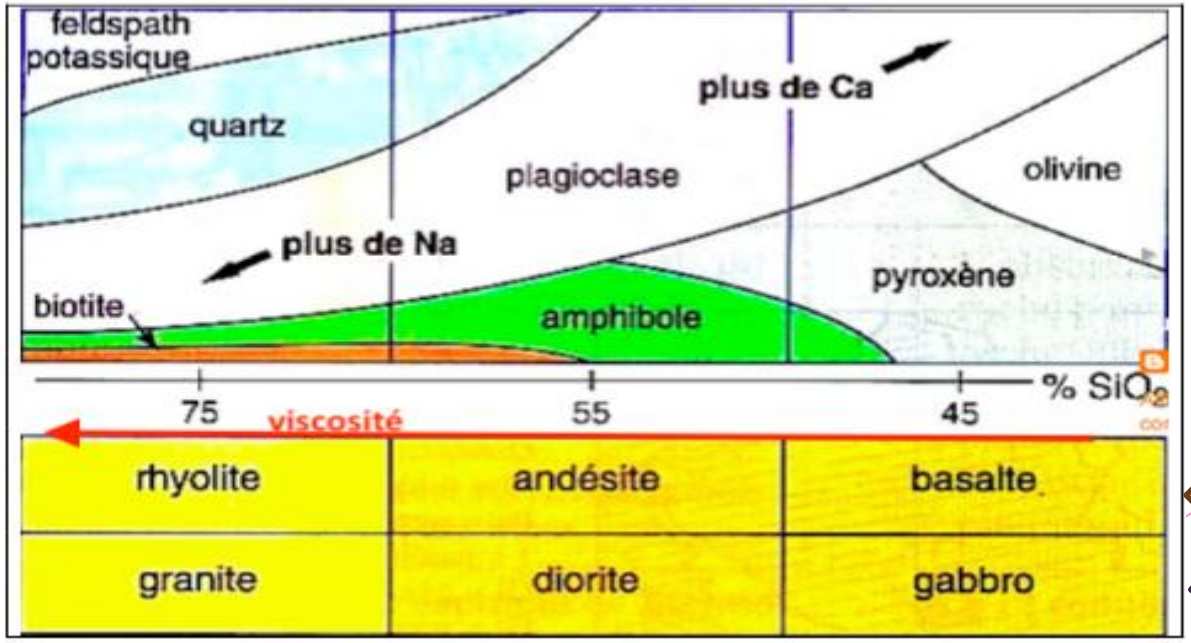
Que constatez-vous ? A quelles conditions, la fusion partielle de la péridotite est-elle possible ?

Le géotherme de subduction montre que la fusion d'une péridotite anhydre (sèche) est impossible car le géotherme ne recoupe pas le solidus. Par contre, il recoupe le solidus hydraté entre 80 et 120 km de profondeur, ce qui permet une fusion partielle de la péridotite à ces profondeurs. La péridotite ne pourra donc subir un début de fusion que si elle contient de l'eau.

Origine de la diversité des roches: la composition chimique

Composition chimique des basaltes des dorsales, des basaltes de subduction, des andésites et rhyolites								
	SiO_2	K_2O	Na_2O	CaO	MgO	oxydes de Fe	Al_2O_3	H_2O
Basalte des dorsales	47 %	0,2 %	2,2 %	11 %	8,5 %	9,4 %	15,8 %	—
Basalte des zones de subduction	50 %	0,5 %	2,6 %	10,7 %	5 %	10 %	18 %	1,5 %
Andésite	54,2 %	1,1 %	3,7 %	7,9 %	4,4 %	9 %	17,2 %	1,2 %
Rhyolite	73,7 %	5,3 %	3 %	1 %	0,3 %	1,7 %	13,4 %	1,9 %

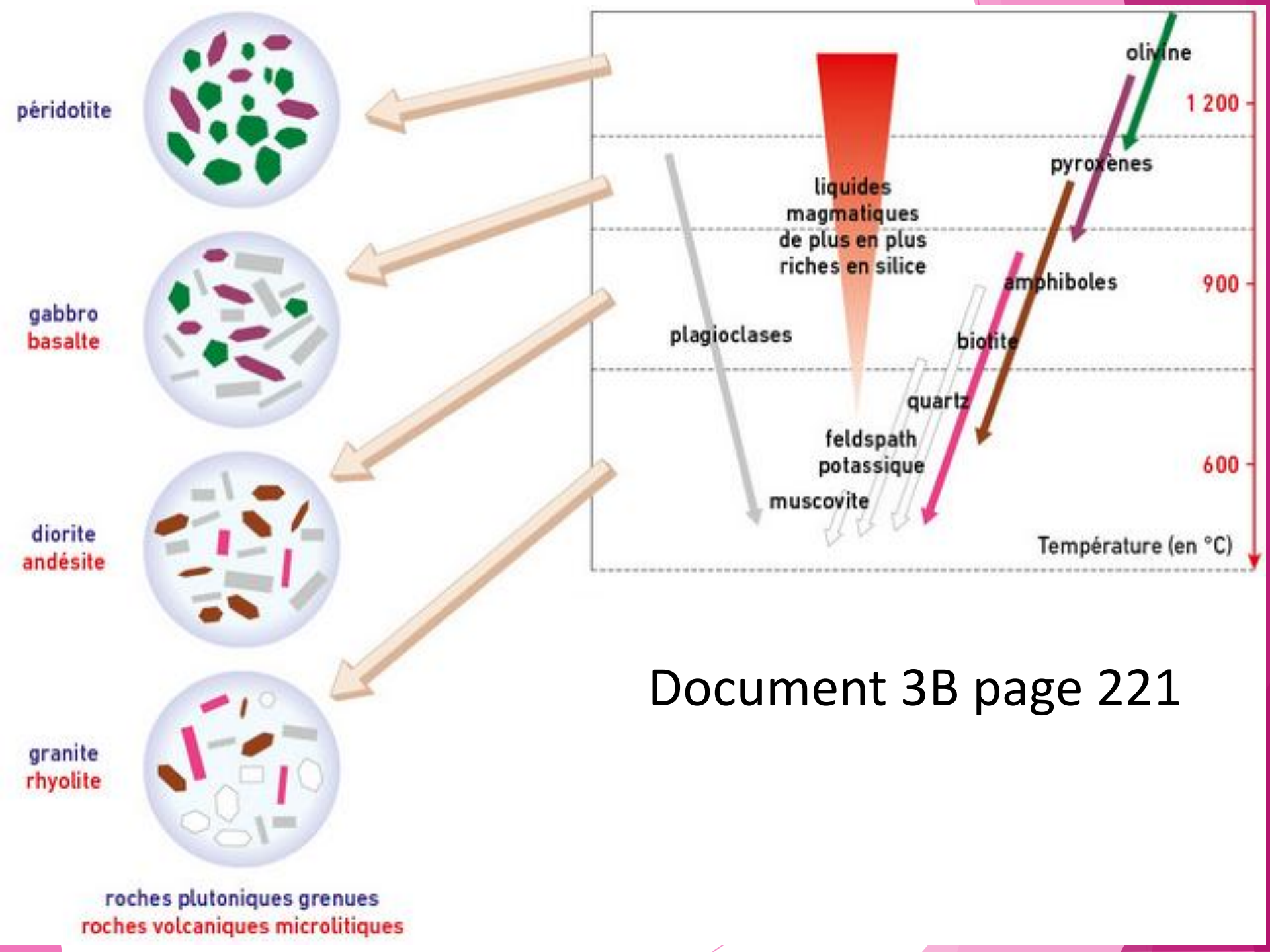
→ Augmentation de la viscosité avec l'augmentation du % de silice.



Refroidissement lent/rapide/ roche plutonique/volcanique

R. VOLC

R. PLUT



Document 3B page 221

Document 3 page 221

Grâce aux données fournies par ce document, expliquez la variété des roches magmatiques produites dans les zones de subduction.

Lors de son refroidissement, le magma produit par la fusion de la péridotite hydratée subit une cristallisation fractionnée. Les minéraux les plus pauvres en silice cristallisent en premier (olivine, pyroxène), le magma résiduel devient donc plus riche en silice.

En remontant dans la croûte de la plaque chevauchante, le magma peut faire fondre en partie les roches de cette croûte ce qui modifiera sa composition.

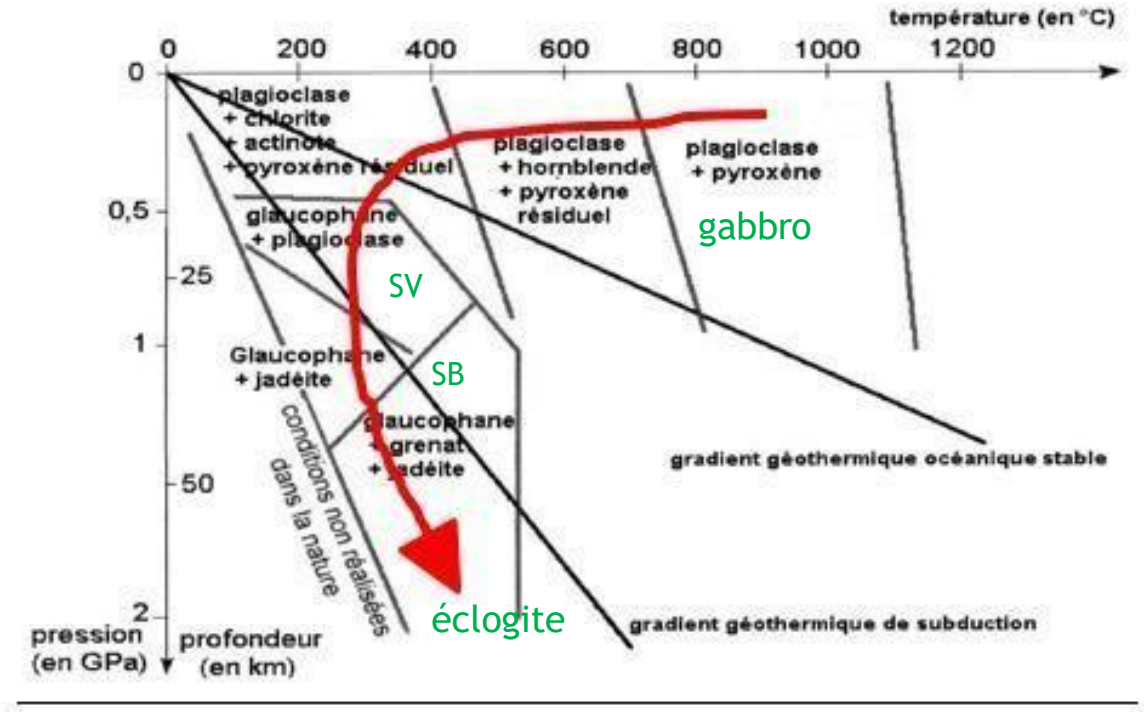
Bilan

Dans les zones de subduction, la production de magma résulte de la fusion partielle de la péridotite du coin de manteau de la plaque chevauchante, à condition que cette péridotite soit hydratée.

La plus grande partie du magma se refroidit lentement et cristallise en profondeur pour former roches plutoniques à texture grenue (diorite, granite). Le magma qui remonte vers la surface se refroidit plus rapidement et forme des roches volcaniques à texture microlitique (andésite, rhyolite).

La cristallisation fractionnée du magma et l'incorporation de constituants de la croûte au cours de sa remontée permet de former des roches magmatiques variées.

Correction du trajet subi par le gabbro (en rouge)



Le bilan en schéma …

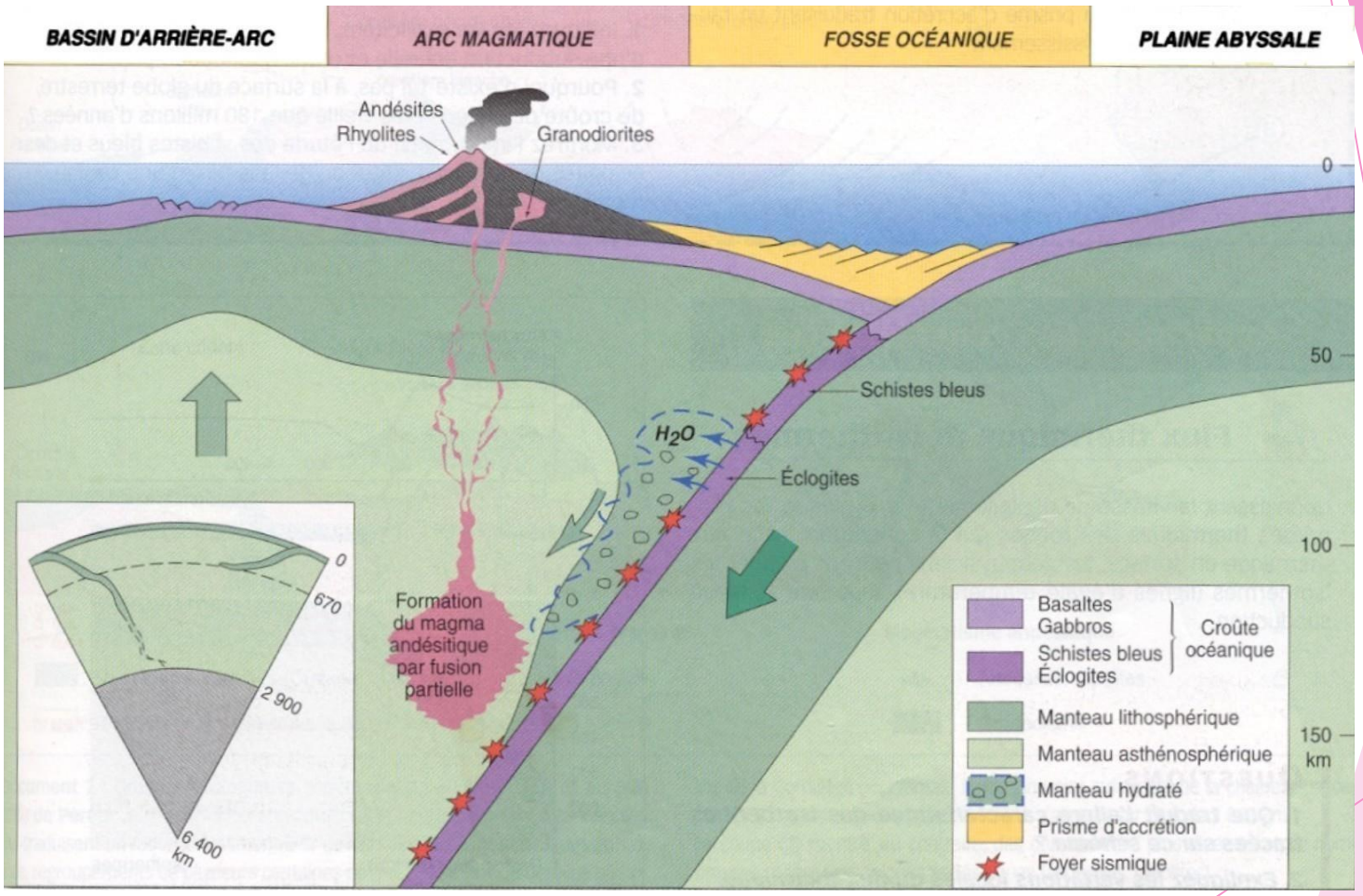
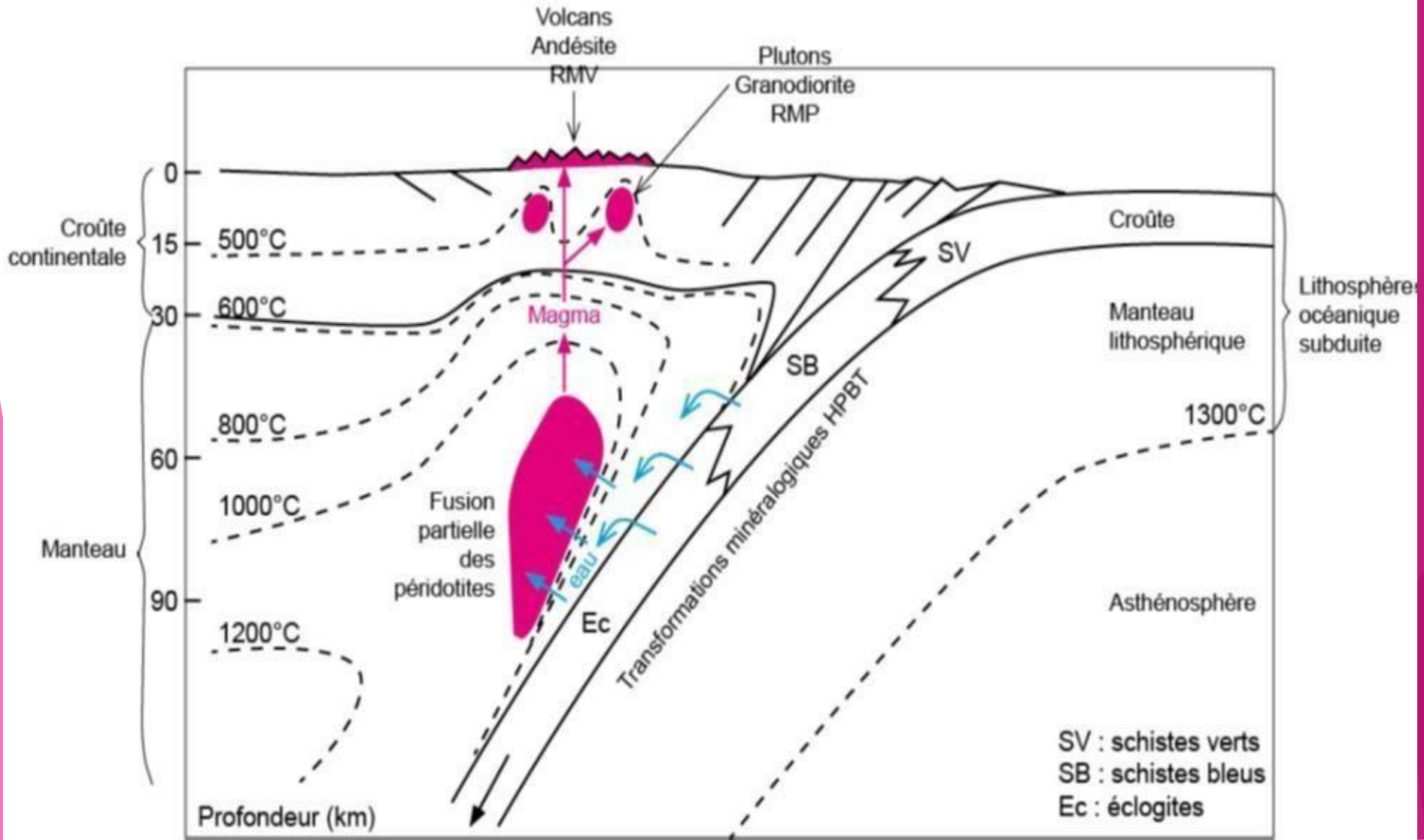



Schéma bilan complété