

Volcanisme



Distribution

Processus

Dépôts

Outre-mer

France



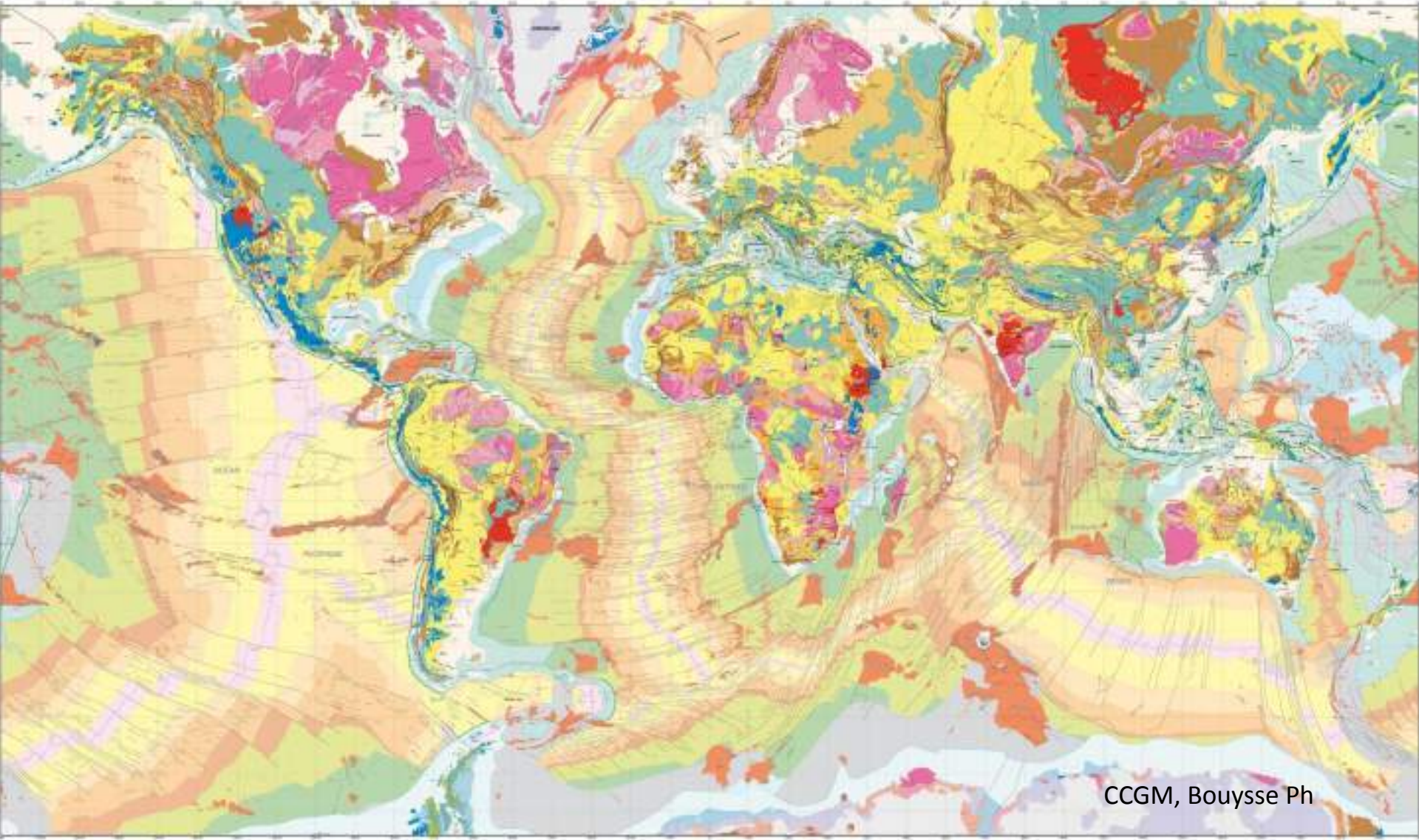


Harat Khaybar, Arabie, NASA

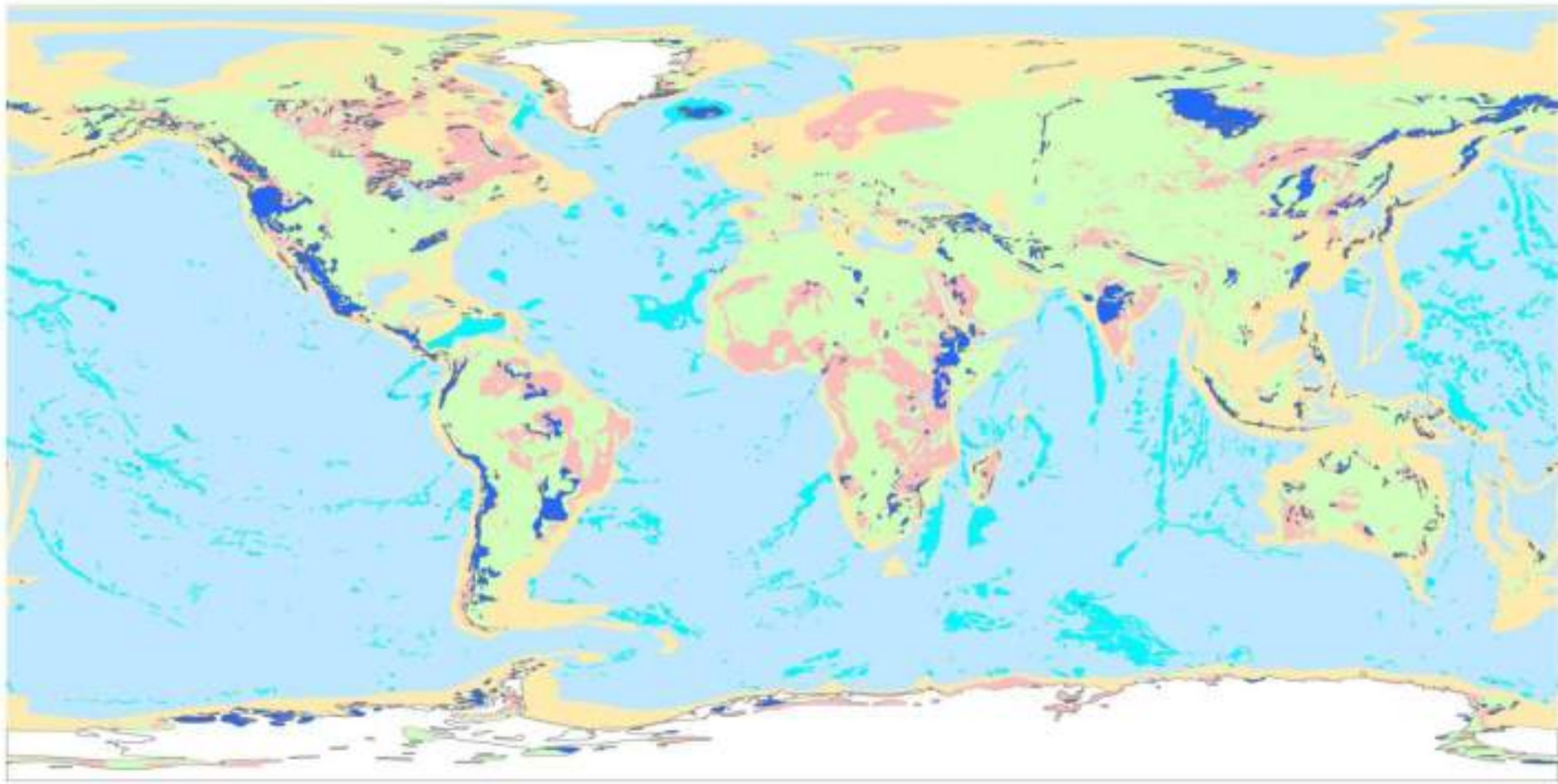
Pourquoi s'intéresser aux volcans ?

- Comprendre
- Maitriser l'aléa et Prévenir les risques
- Faire l'inventaire des géoressources : eau, minéraux, métaux, énergie
- Aménager le territoire
- ...

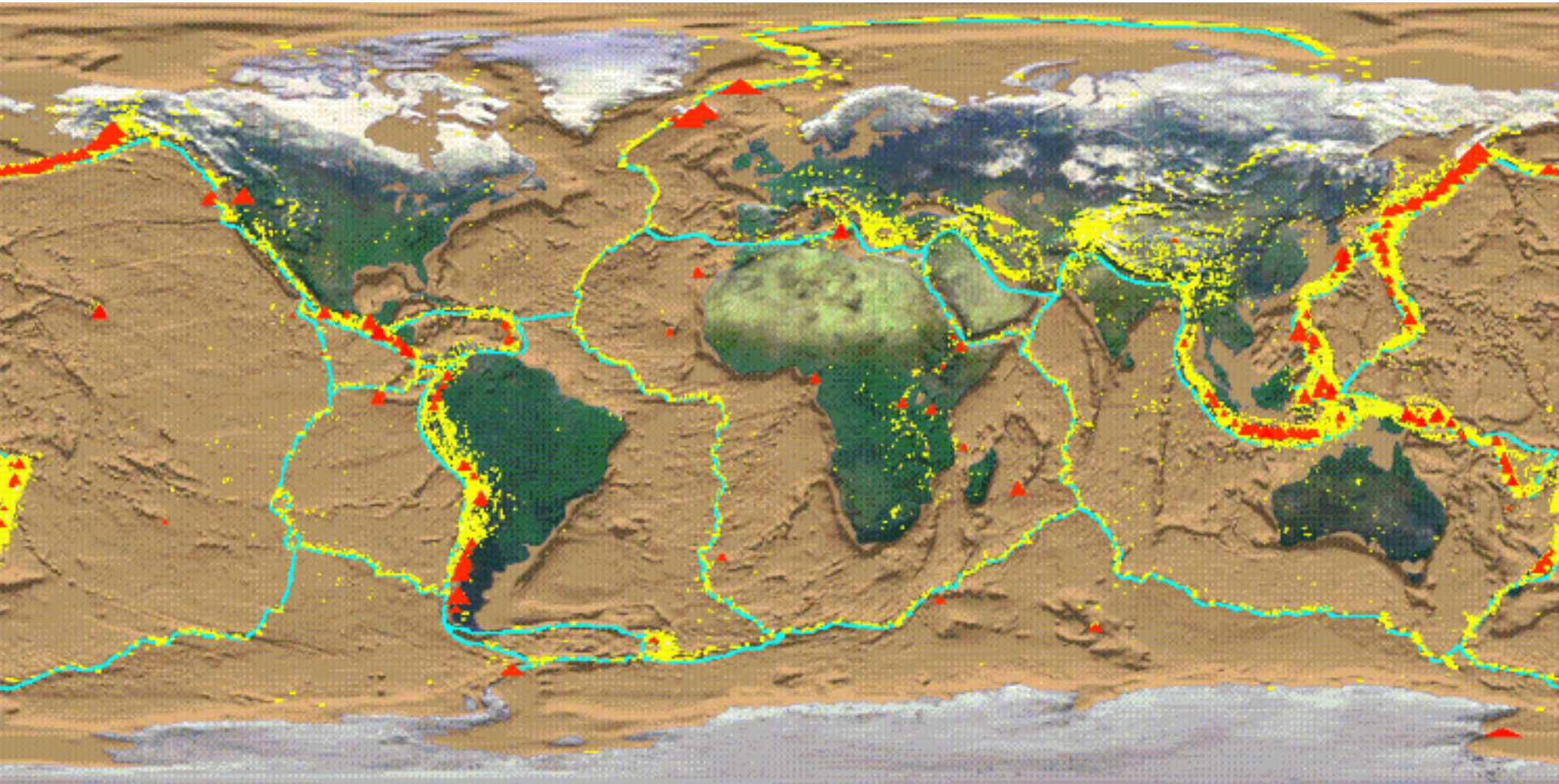
Diversité géodynamique



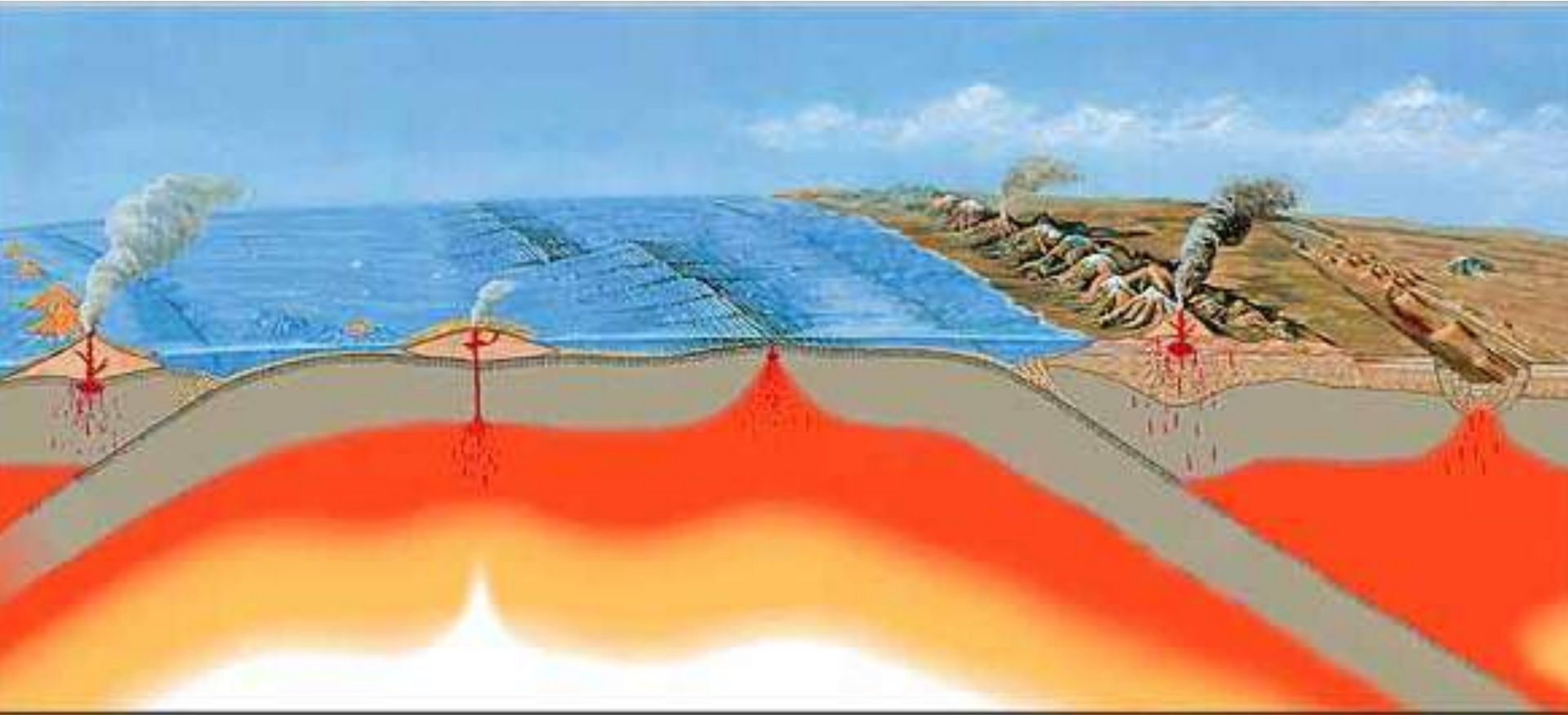
Distribution volcanisme et paléovolcanisme



Distribution du volcanisme actuel

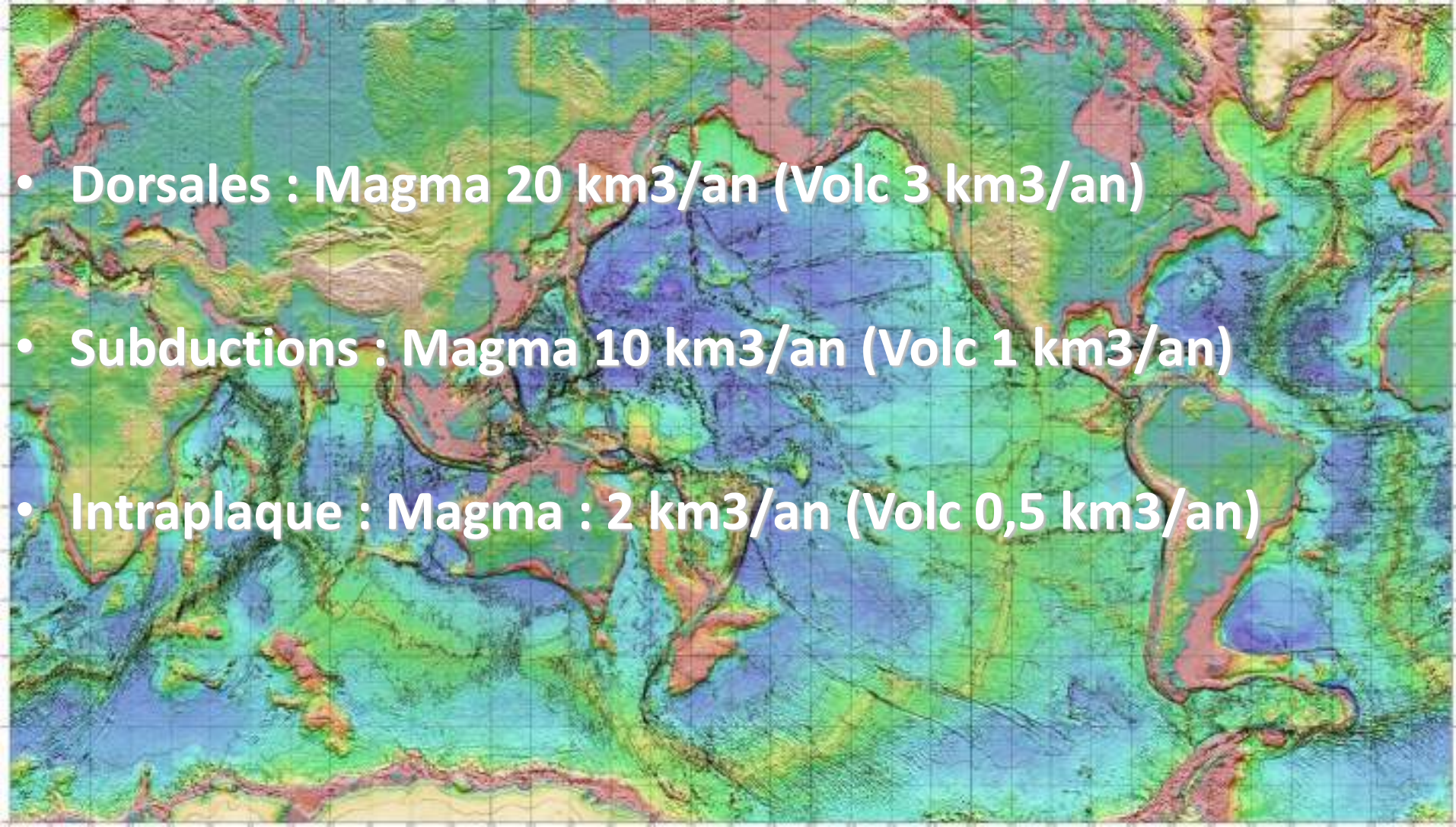


Contextes géodynamiques



Productions magmatiques / volcaniques

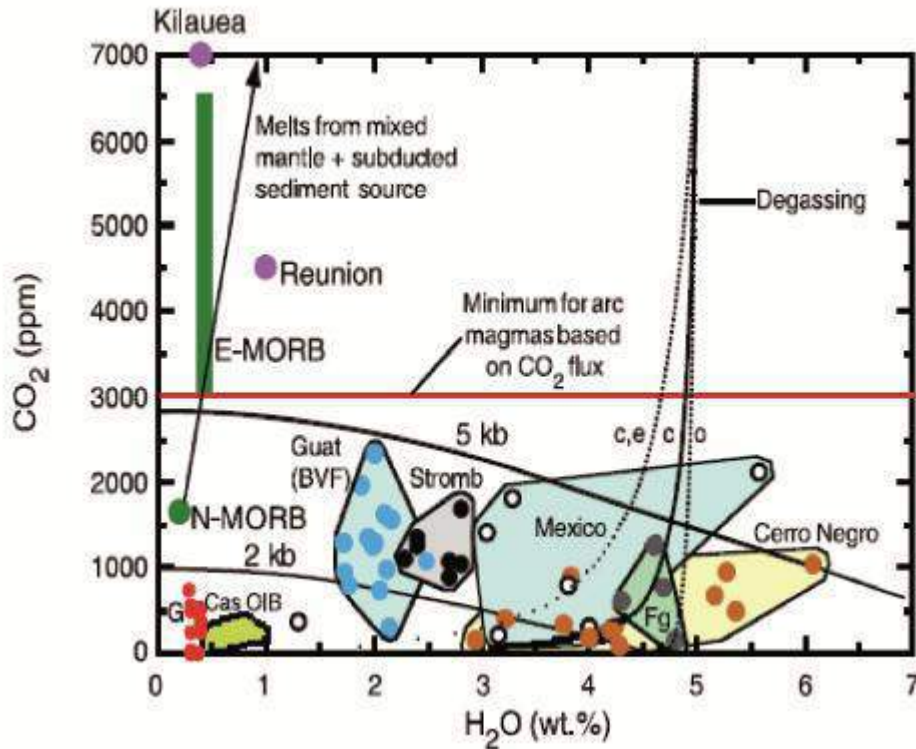
- Dorsales : Magma $20 \text{ km}^3/\text{an}$ (Volc $3 \text{ km}^3/\text{an}$)
- Subductions : Magma $10 \text{ km}^3/\text{an}$ (Volc $1 \text{ km}^3/\text{an}$)
- Intraplaque : Magma : $2 \text{ km}^3/\text{an}$ (Volc $0,5 \text{ km}^3/\text{an}$)



Magmas ?

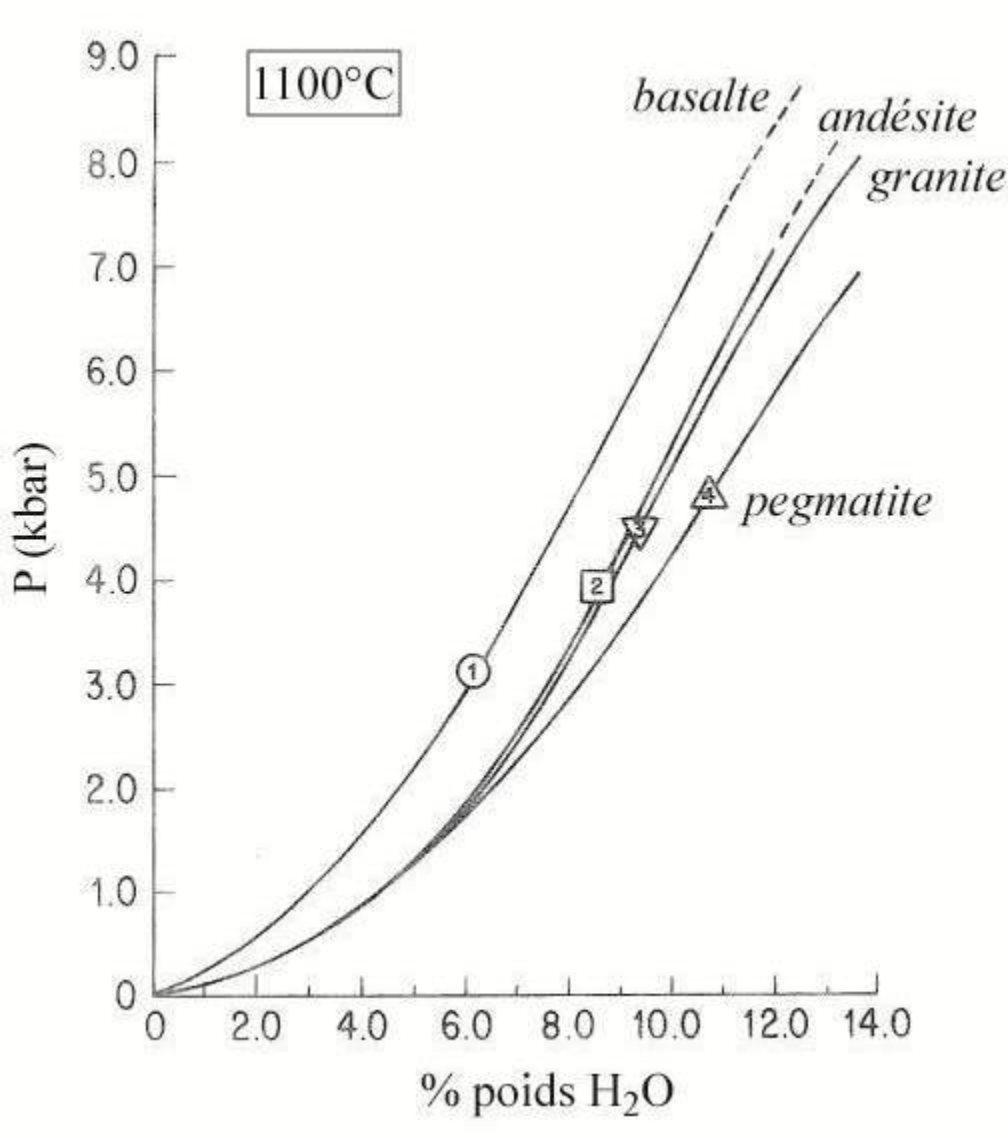
- Eruptions volcaniques résultent de l'émission de magma en surface
- Magma = mélange de liquide + cristaux + gaz
- Gaz = H₂O > CO₂, + S, Cl, F
- Gaz rhyolite > gaz basaltes
- Température des magmas fct composition
- Viscosité des magmas fct composition; fct température; fct teneur en gaz

De l'Eau dans les Magmas

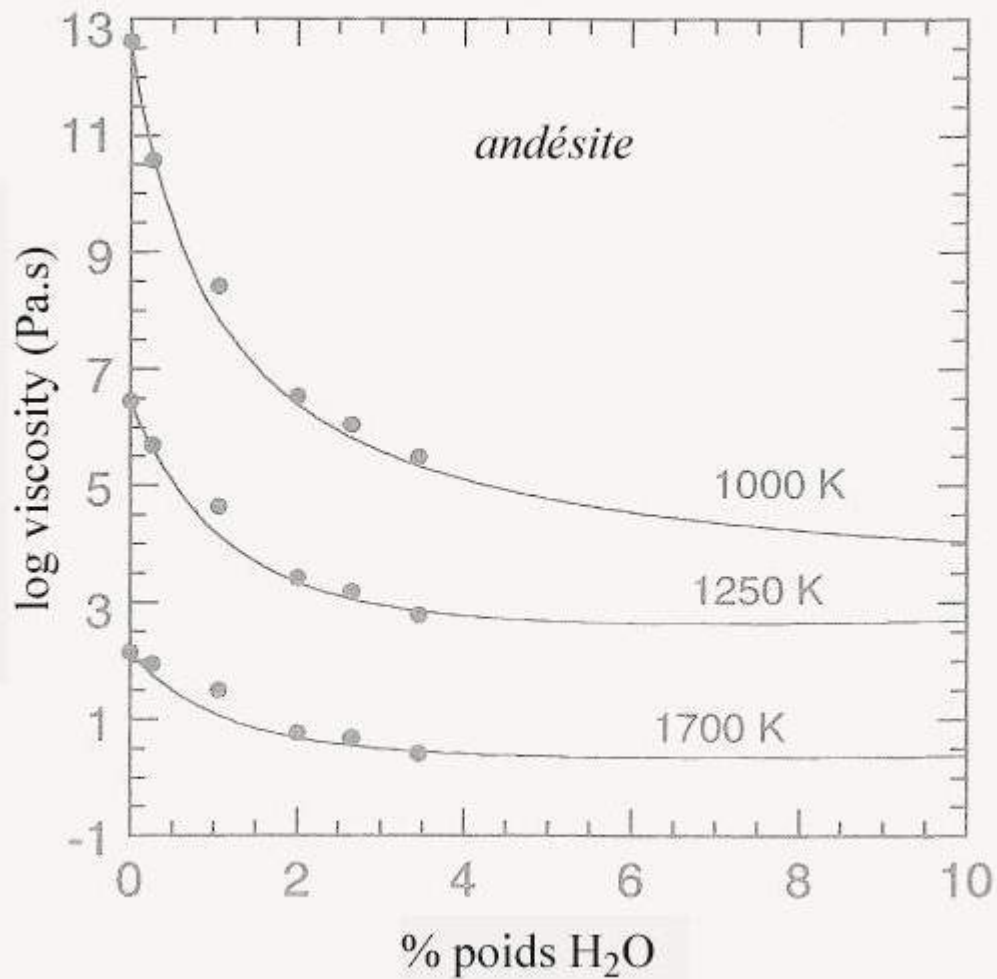


Compilation des données de concentration en eau et en CO₂ dans les inclusions vitreuses des basaltes. Données des volcans d'arc d'Amérique Centrale (Fuego, Fg ; Cerro Negro ; Guatemala en arrière du front volcanique, Guat BVF), de la ceinture volcanique trans-mexicaine (Mexico), du Stromboli (Stromb) et du Galunggung (G). A titre de comparaison, les données pour les N-MORB (point), E-MORB (rectangle), et pour le Kilauea, La Réunion et un OIB de la chaîne des Cascades (Cas OIB) sont figurées.

D'après Wallace (2005); Pichavant 2011



Variation de la concentration en eau dissoute en fonction de la pression pour différents liquides silicatés de composition (1) basaltique, (2) andésitique, (3) granitique et (4) pegmatitique. Données à 1100°C et à l'équilibre avec une phase vapeur composée essentiellement d'eau pure (définition de la solubilité de l'eau).
D'après Burnham (1979); Pichavant (2011)



Variation de la viscosité d'un liquide silicaté de composition andésitique en fonction de la teneur en eau dissoute à différentes températures.
D'après Mysen et Richet (2005) ;
Pichavant (2011)

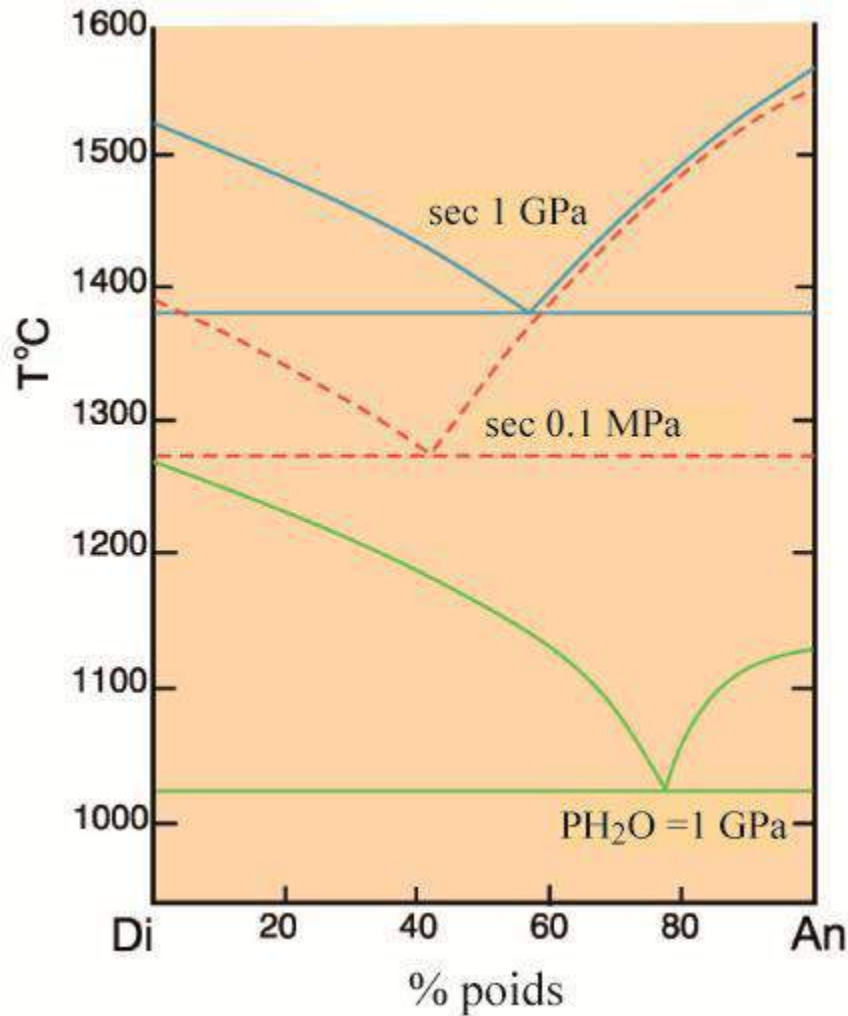
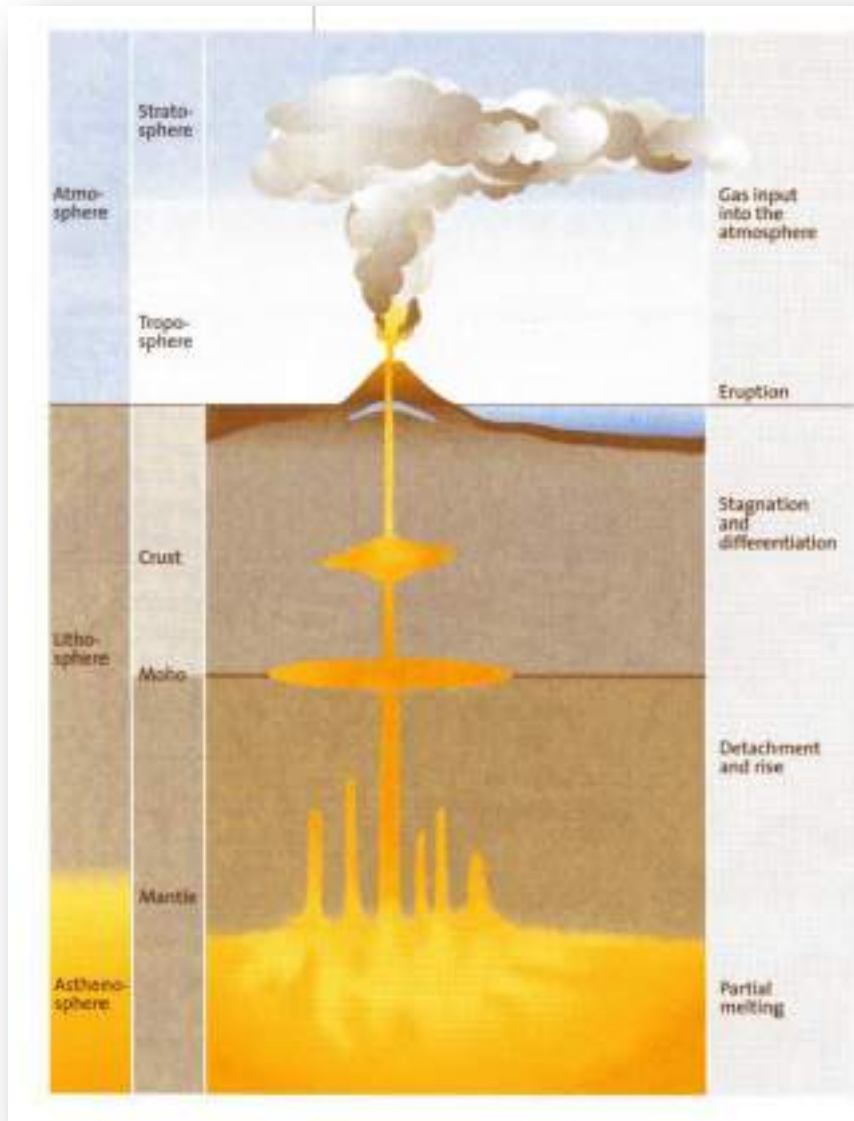


Diagramme de phases du système diopside (Di) – anorthite (An) (1) à sec à 0.1 MPa (1 atmosphère), (2) à sec à 1 GPa et (3) avec un excès d'eau à 1 GPa ($P_{H_2O} = P_{totale}$).
D'après Winter (2001); Pichavant (2011)

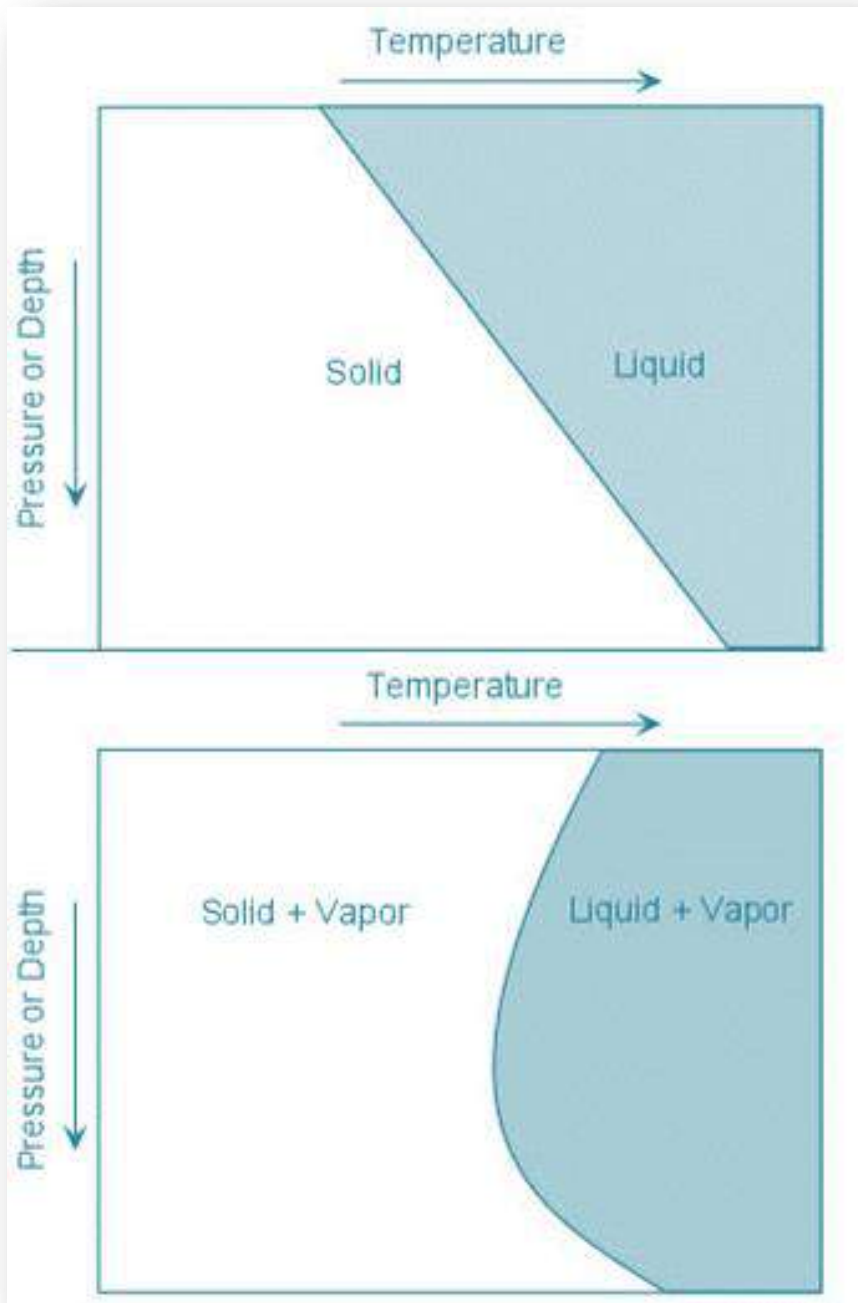
Les racines du volcanisme



Fusion des minéraux

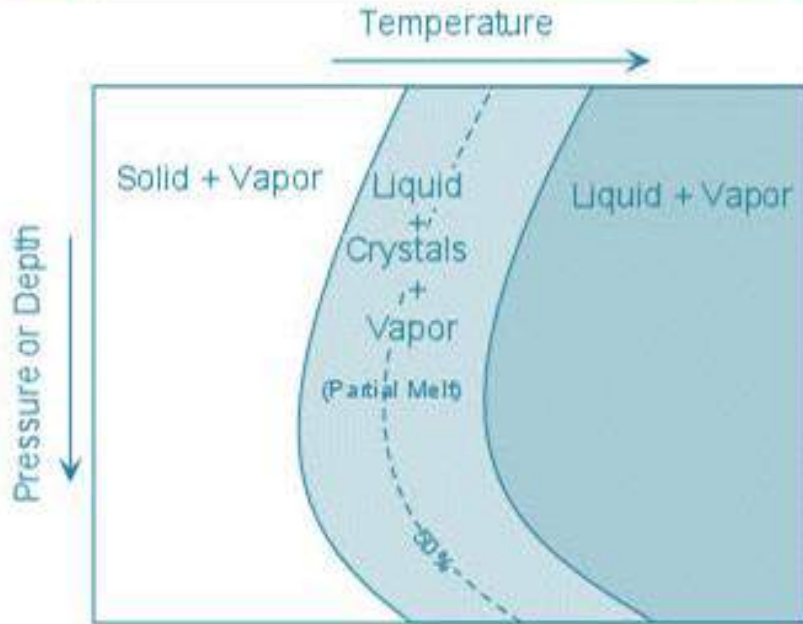
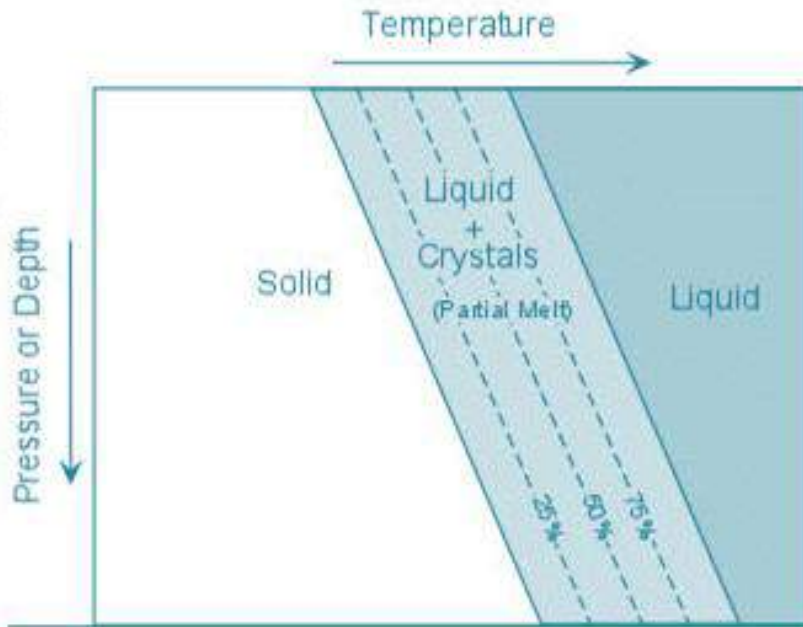
- Fusion sèche

- Fusion hydratée



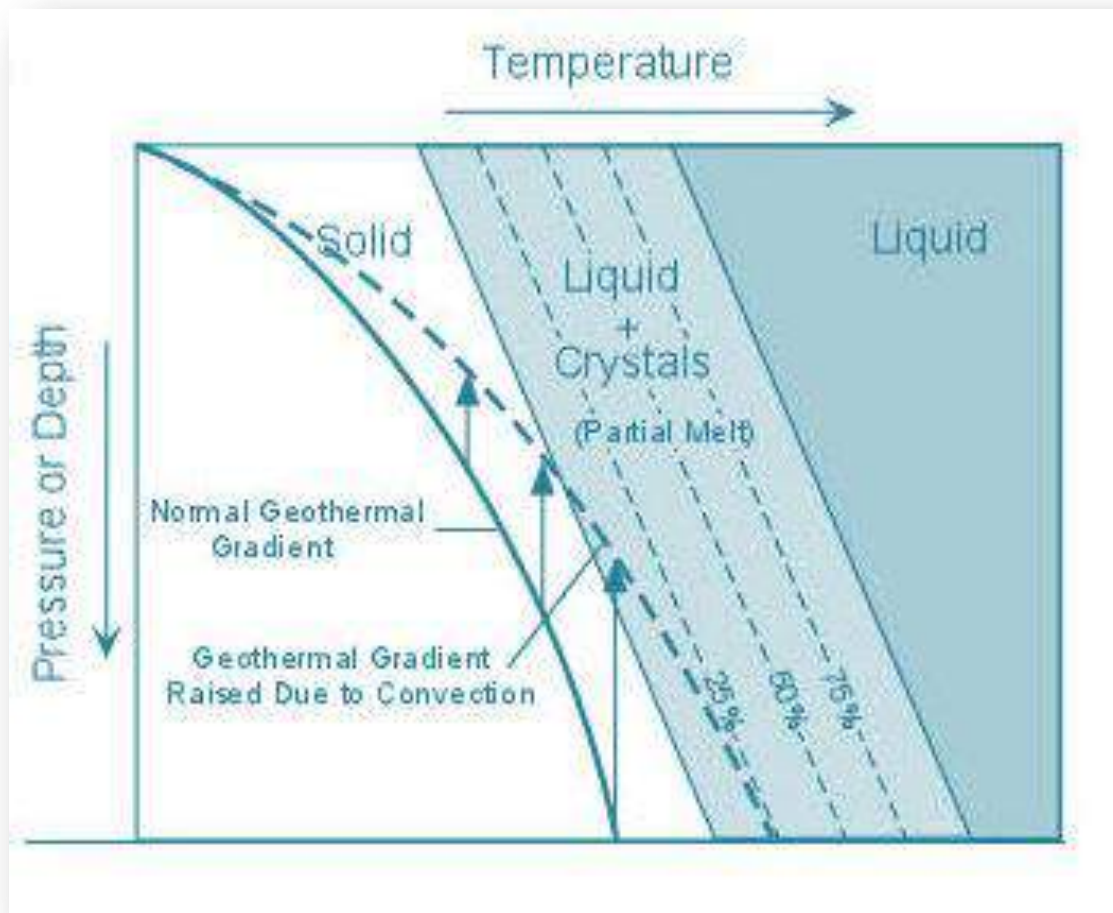
Fusion des roches

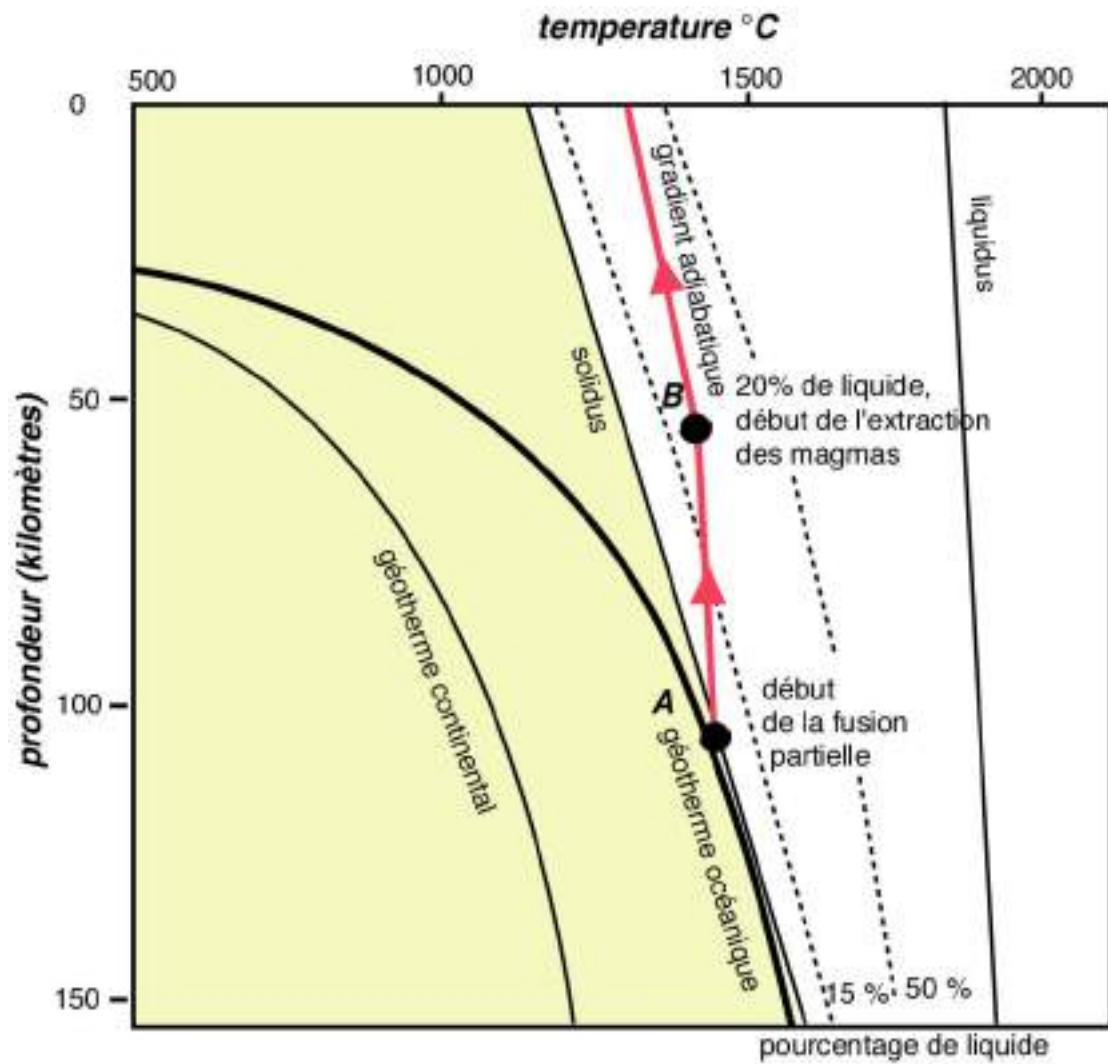
- Fusion sèche



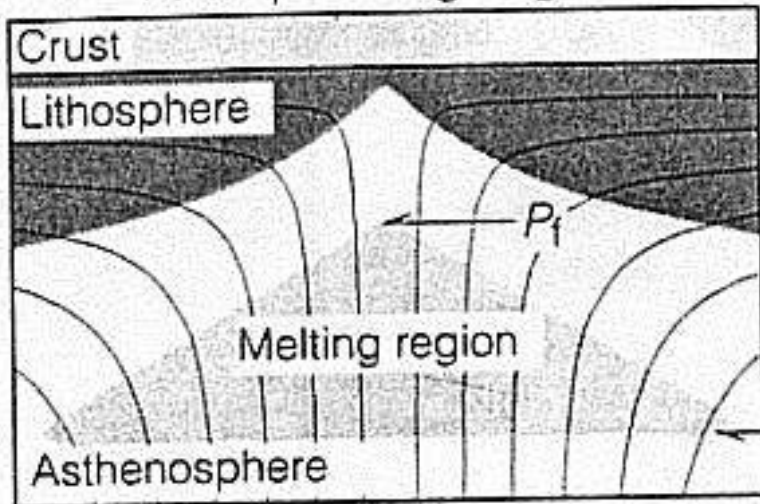
- Fusion hydratée

Fusion par baisse de pression adiabatique

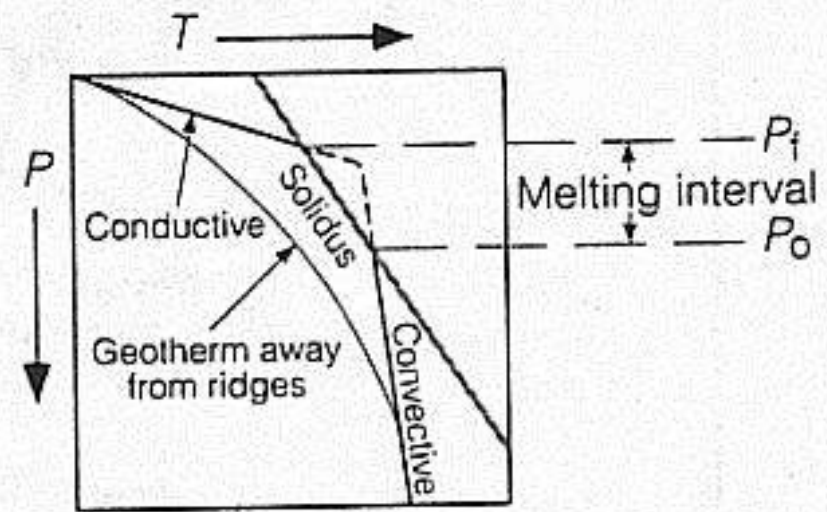
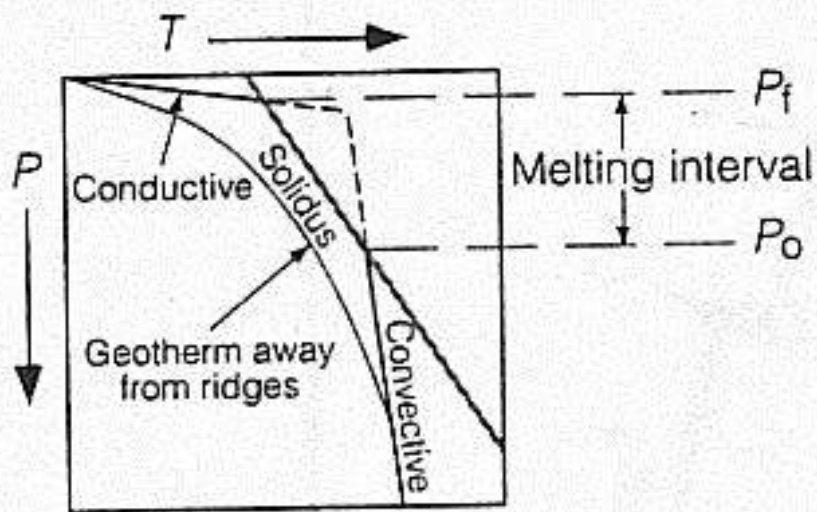
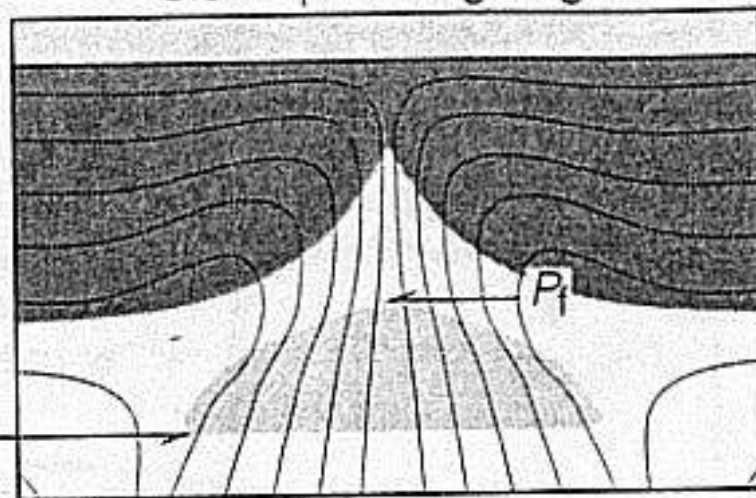


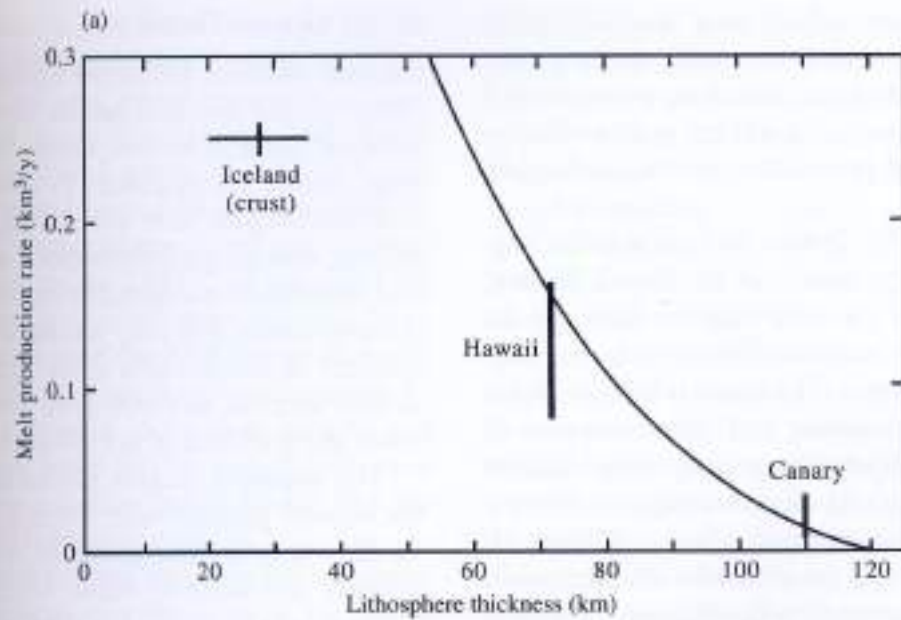


Fast-spreading ridges



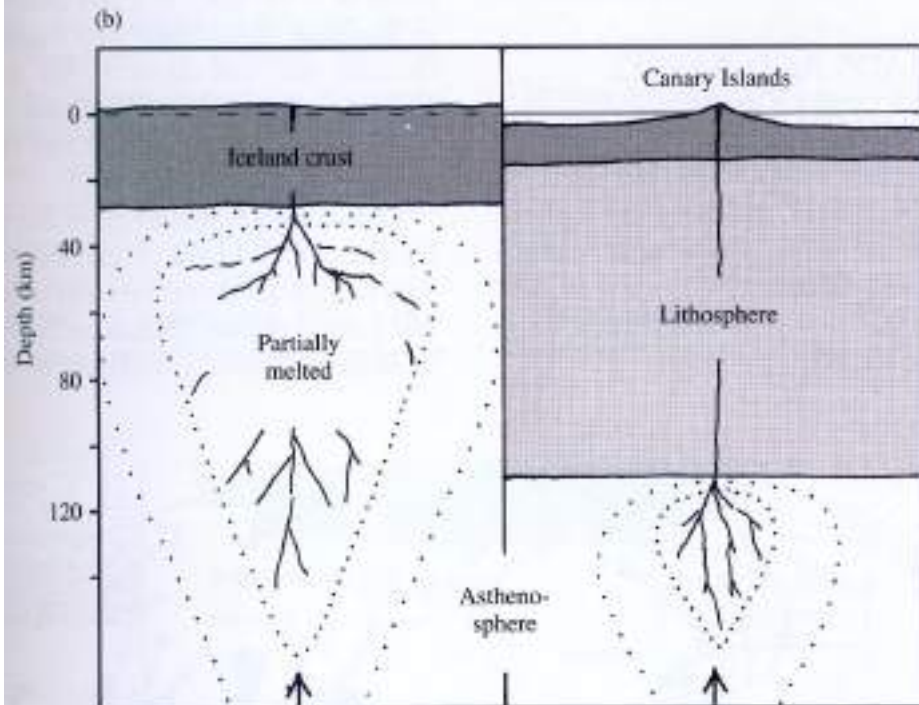
Slow-spreading ridges





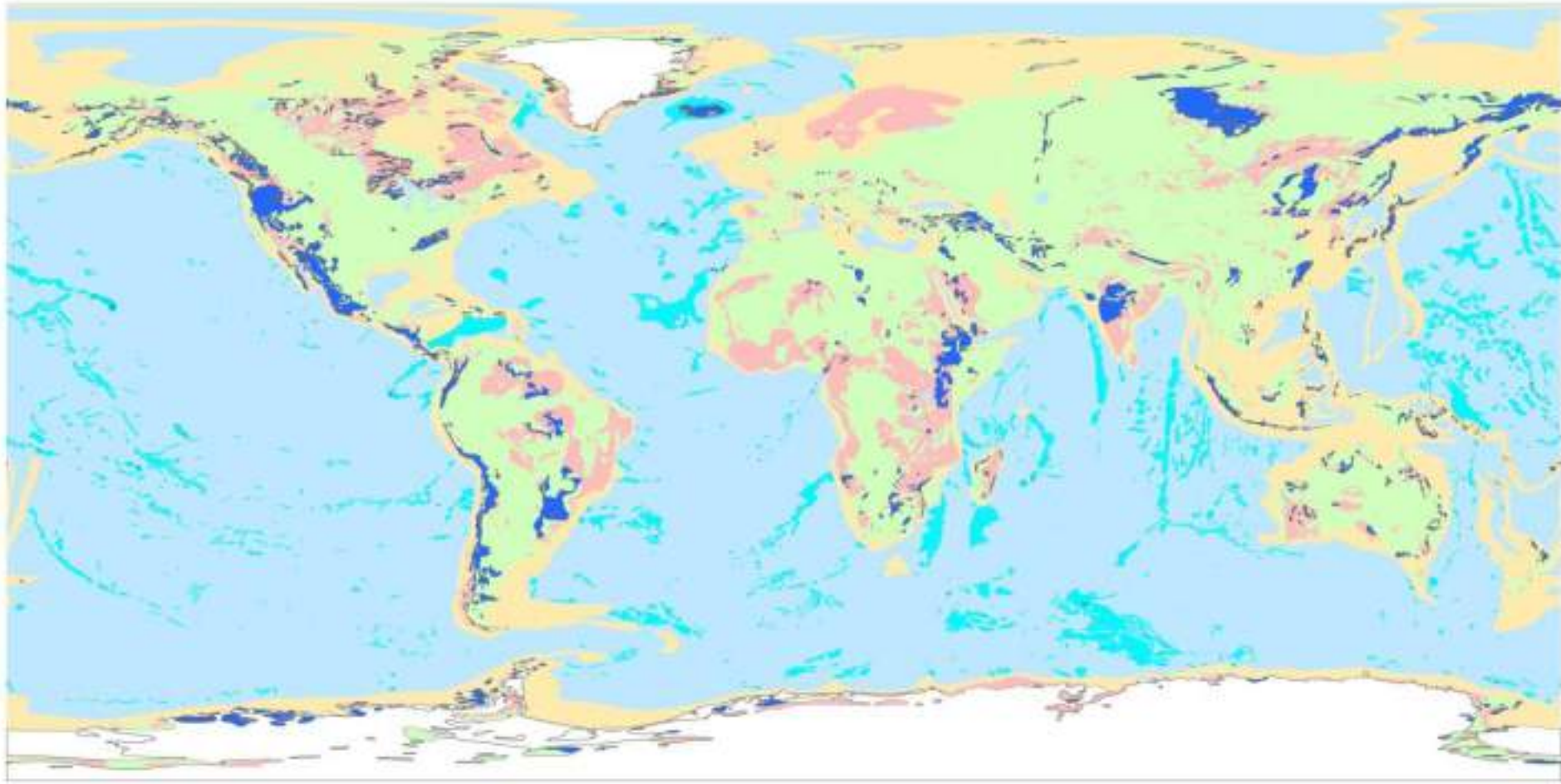
Canaries : lithosphère épaisse, faible décompression du panache, faible taux de fusion. Les tholéiites sont rares

Islande : lithosphère très mince, taux de fusion du panache important, beaucoup de tholéiites

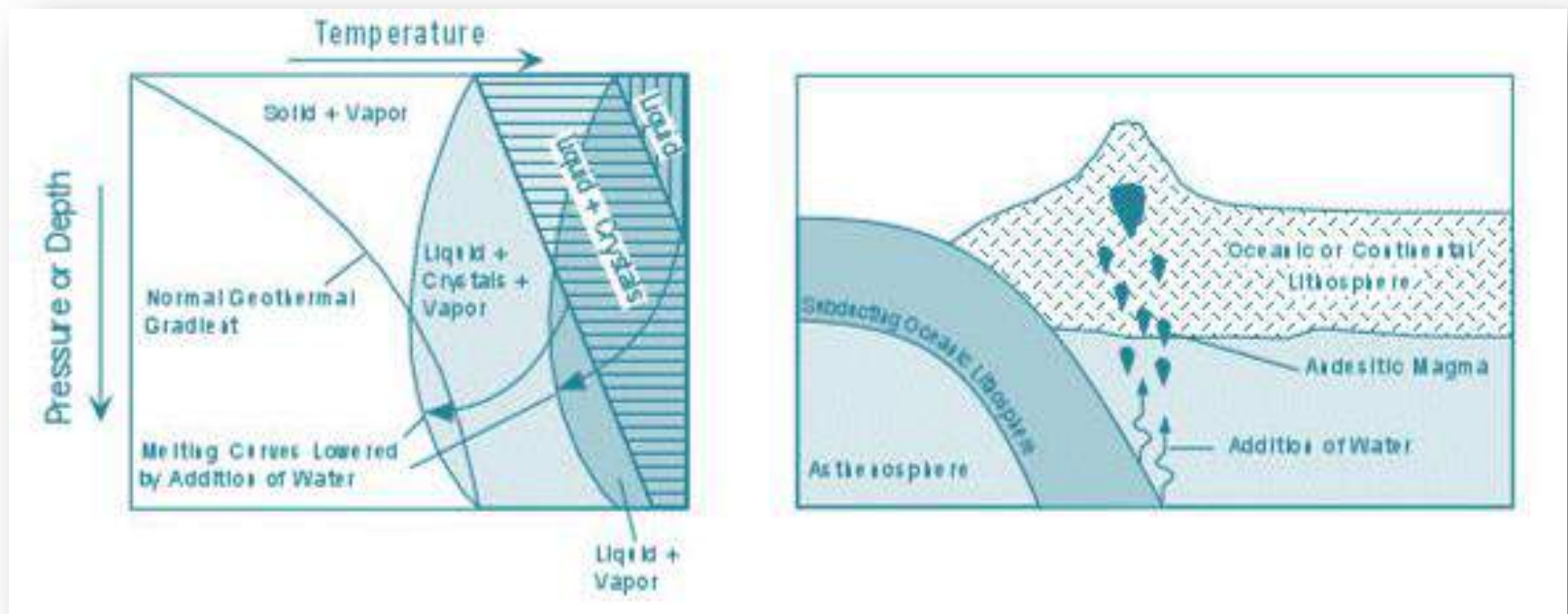


Best et Christiansen, p. 363

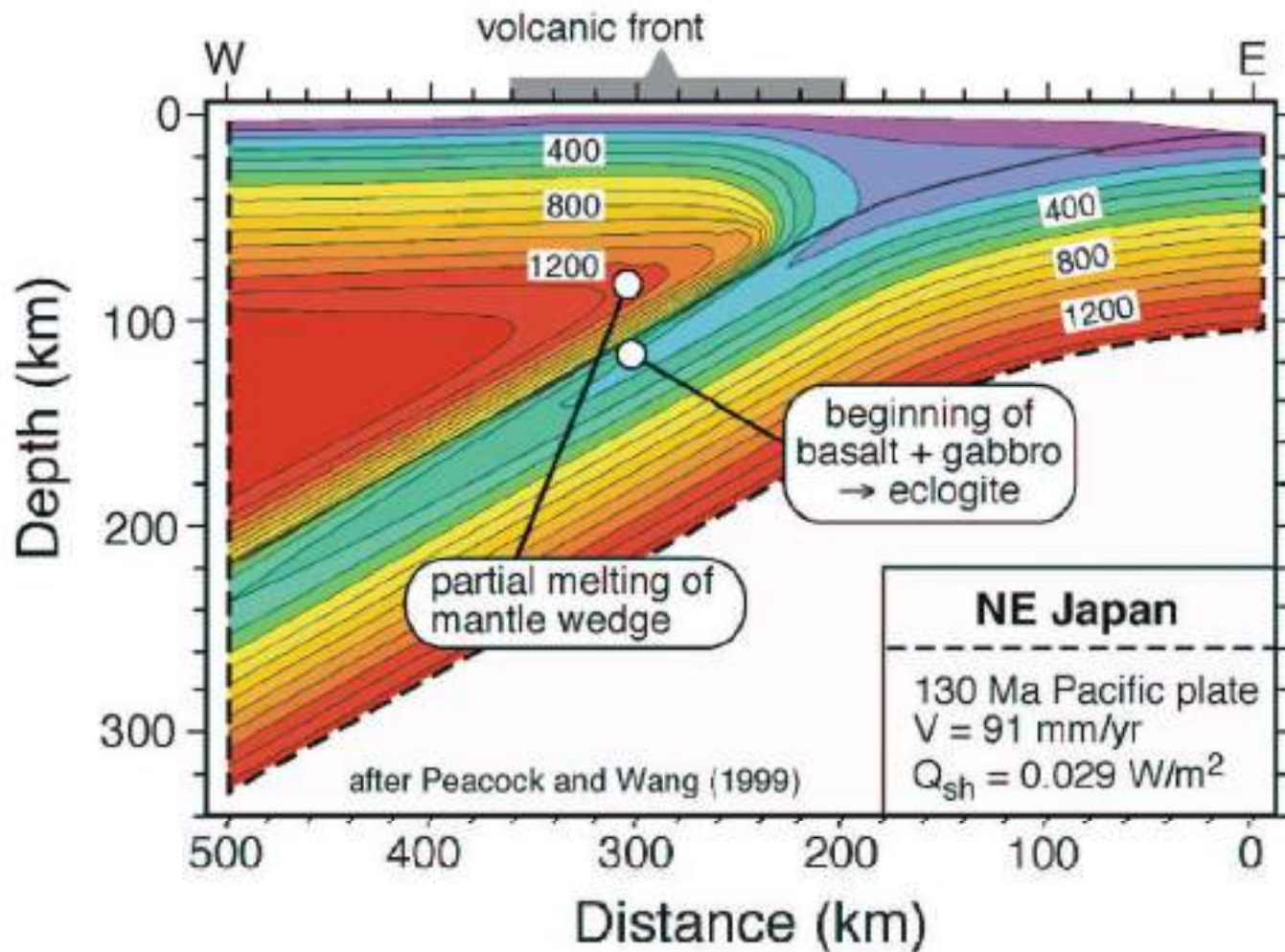
Décompression adiabatique



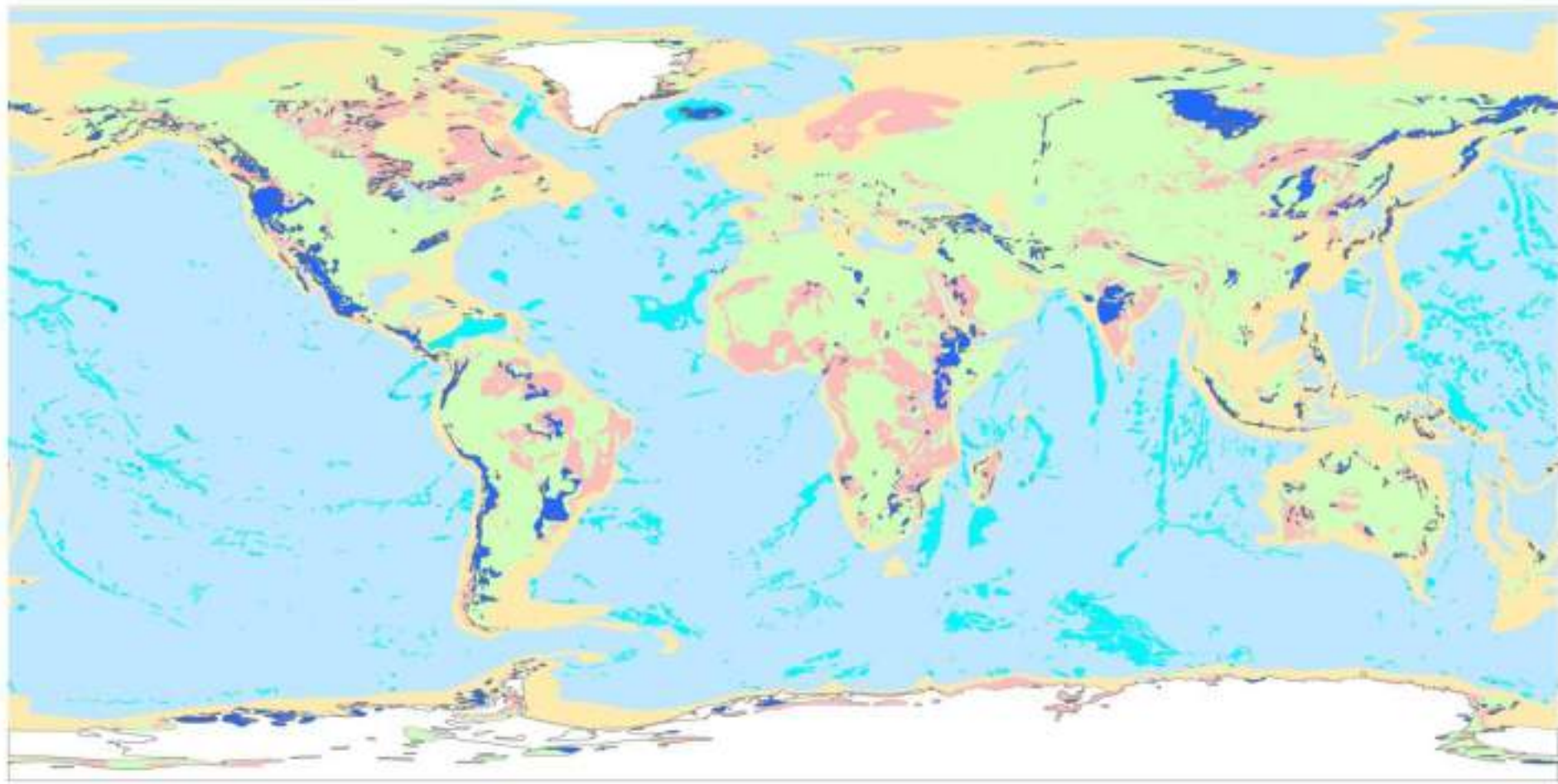
Fusion par hydratation



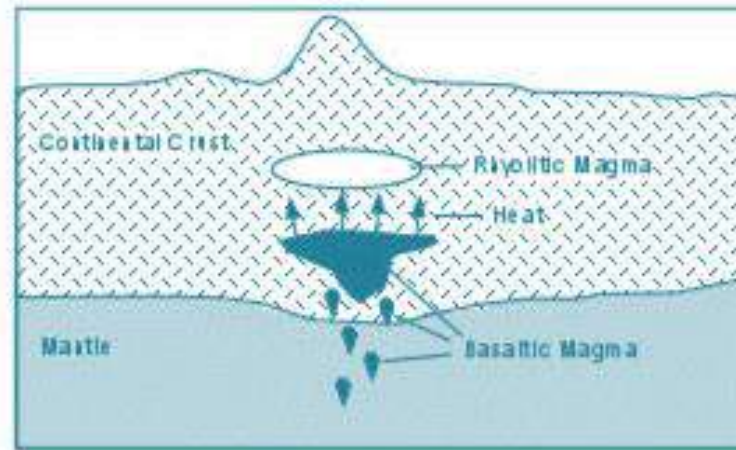
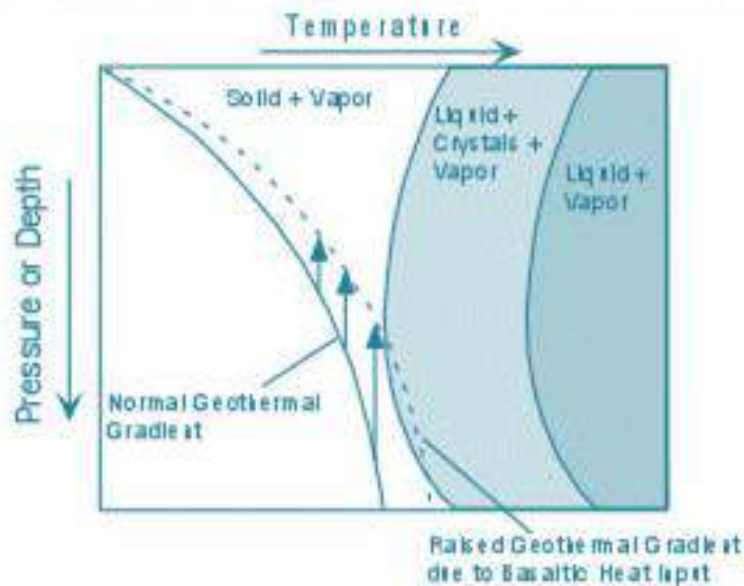
Structure thermique calculée de la zone de subduction NE Japon



Fusion par hydratation : zones de subduction



Fusion par augmentation de la température



Classification du volcanisme

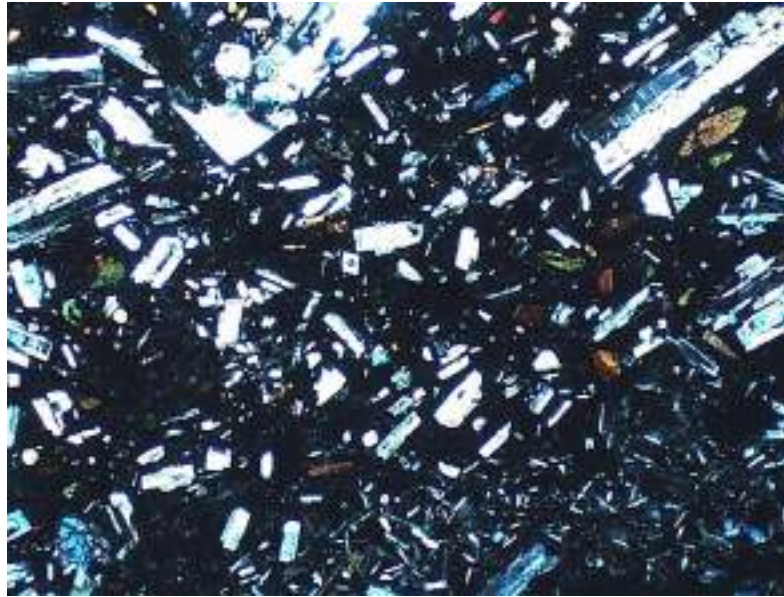
- Lithologique
- Pétrologique
- Géochimique
- Dynamismes éruptifs
- Volume,
- Explosivité,
- ...

Caractéristiques pétrographiques

Basalte



Riche en phénocristaux d'olivine, pyroxène, plagioclase et oxydes ferro-titanés



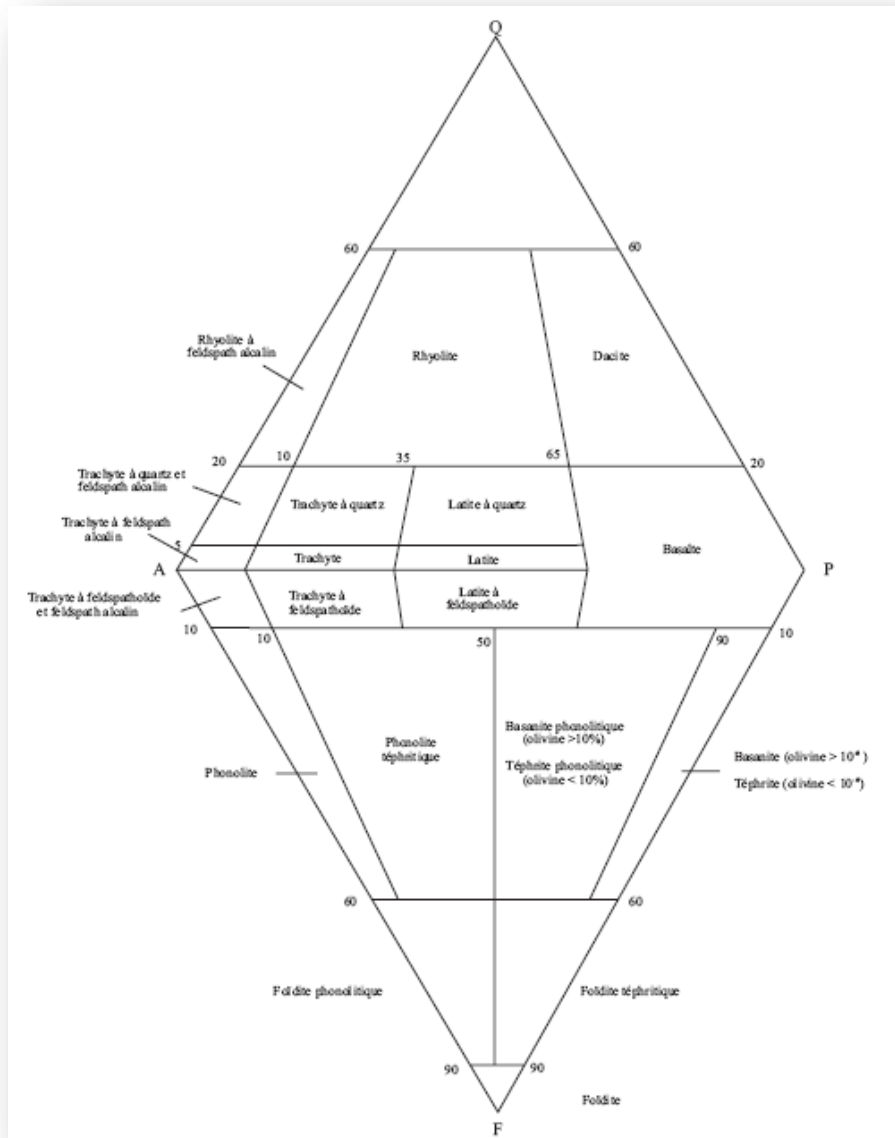
Andésite

Phénocristaux de pyroxène plagioclase, amphibole et oxydes ferro-titanés



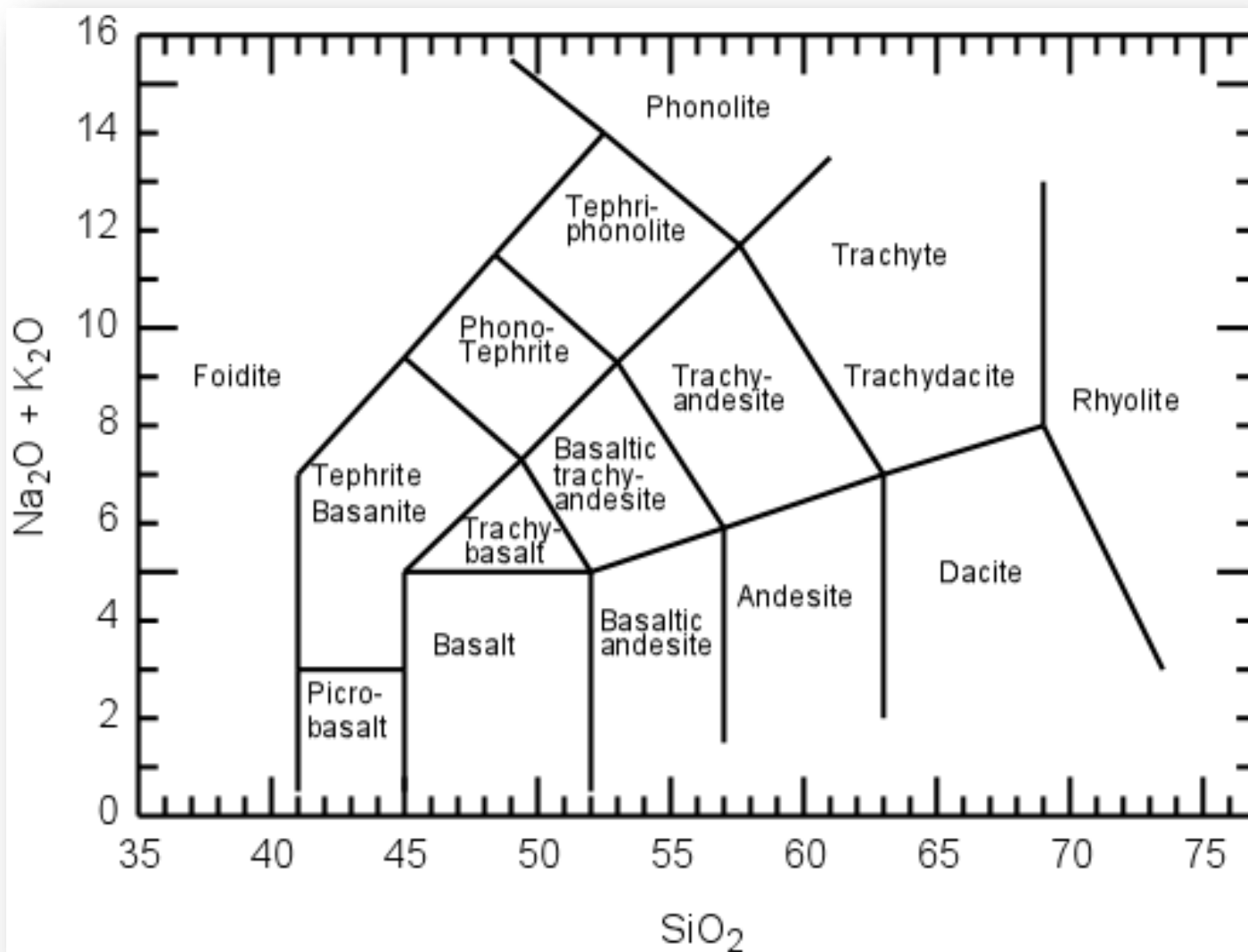
Dacite

Phénocristaux de plagioclase, amphibole, biotite, quartz et oxydes ferro-titanés

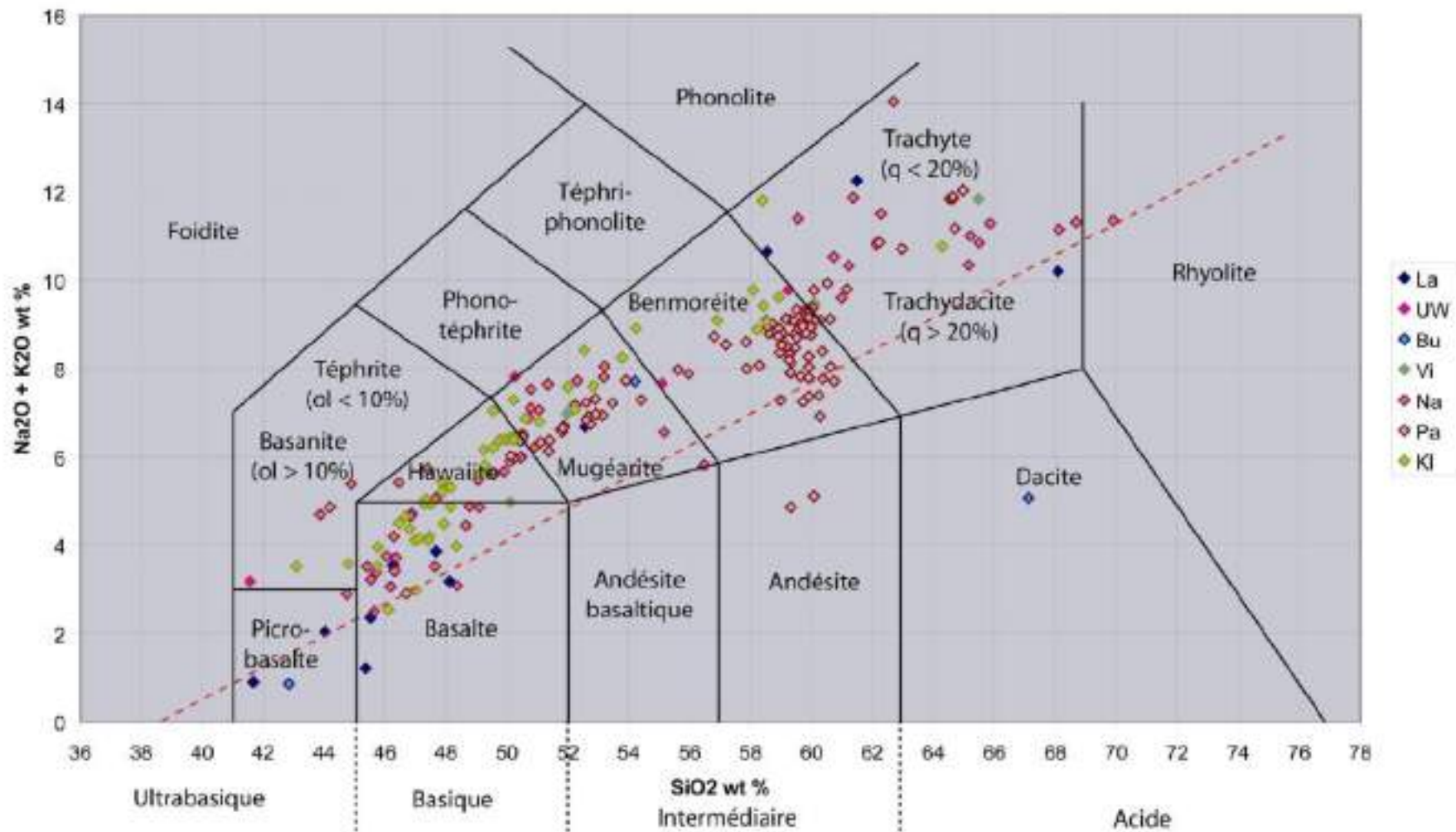


Classification minéralogique des roches volcaniques

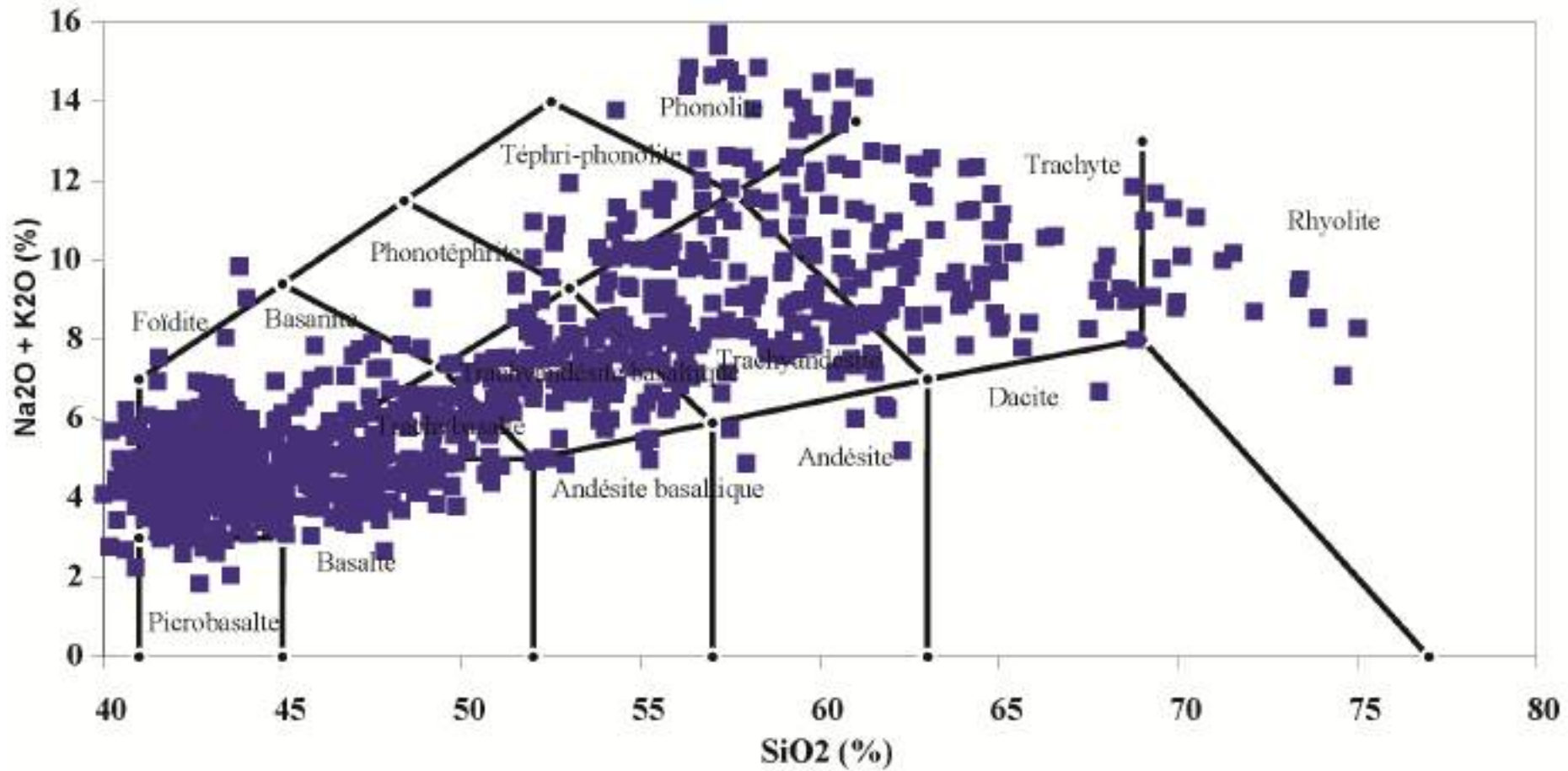
Classification chimique des roches volcaniques



Réunion



Cantal





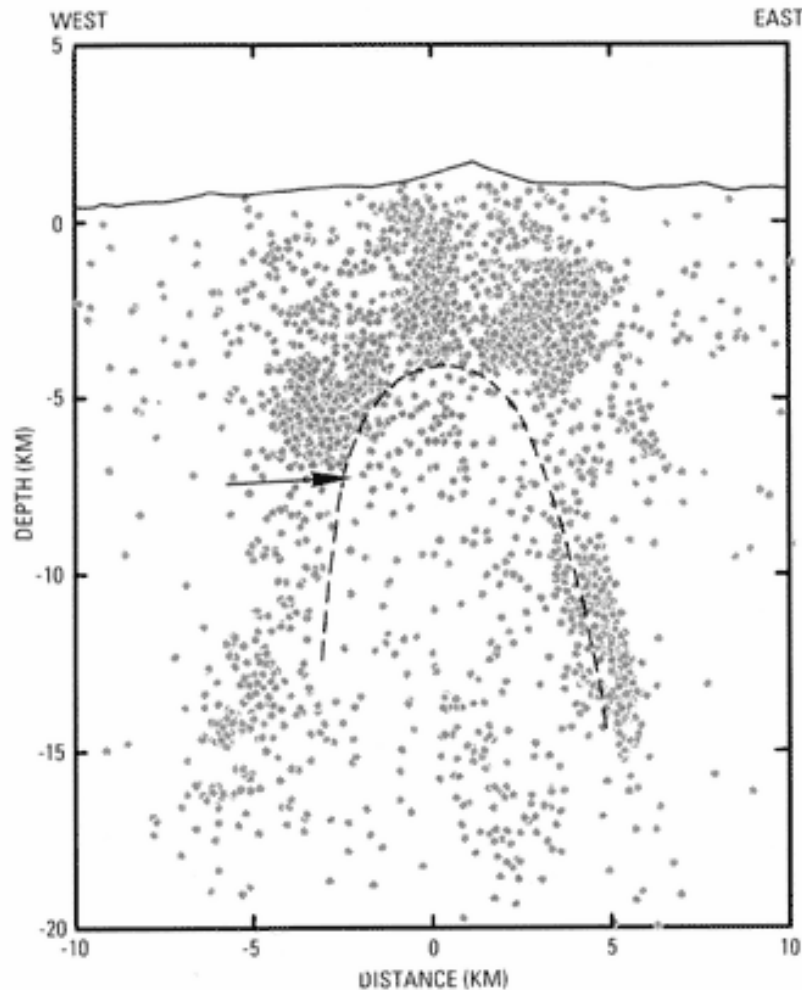
Dyke

Chambres magmatiques ?

- Affleurent : ophiolites, racines des orogènes,
- Roches plutoniques en enclaves dans les laves
- Géométries et tailles variables

Mécanismes d'évolution des magmas

La cristallisation fractionnée



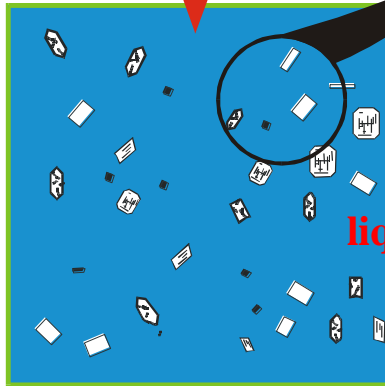
Chambre magmatique à l'aplomb du Mont Pinatubo (zone de transfert et de stockage des magmas), révélée par les données sismiques.

Liquide
basaltique



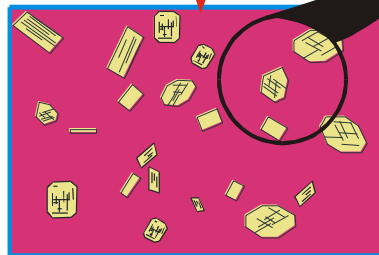
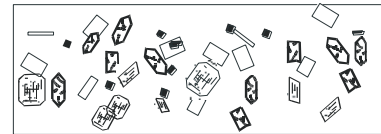
Cristallisation fractionnée

Cristallisation

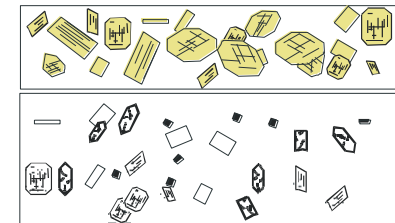
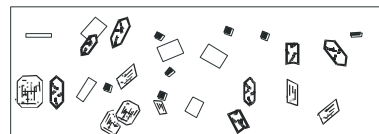


Séparation
liquide/cristaux

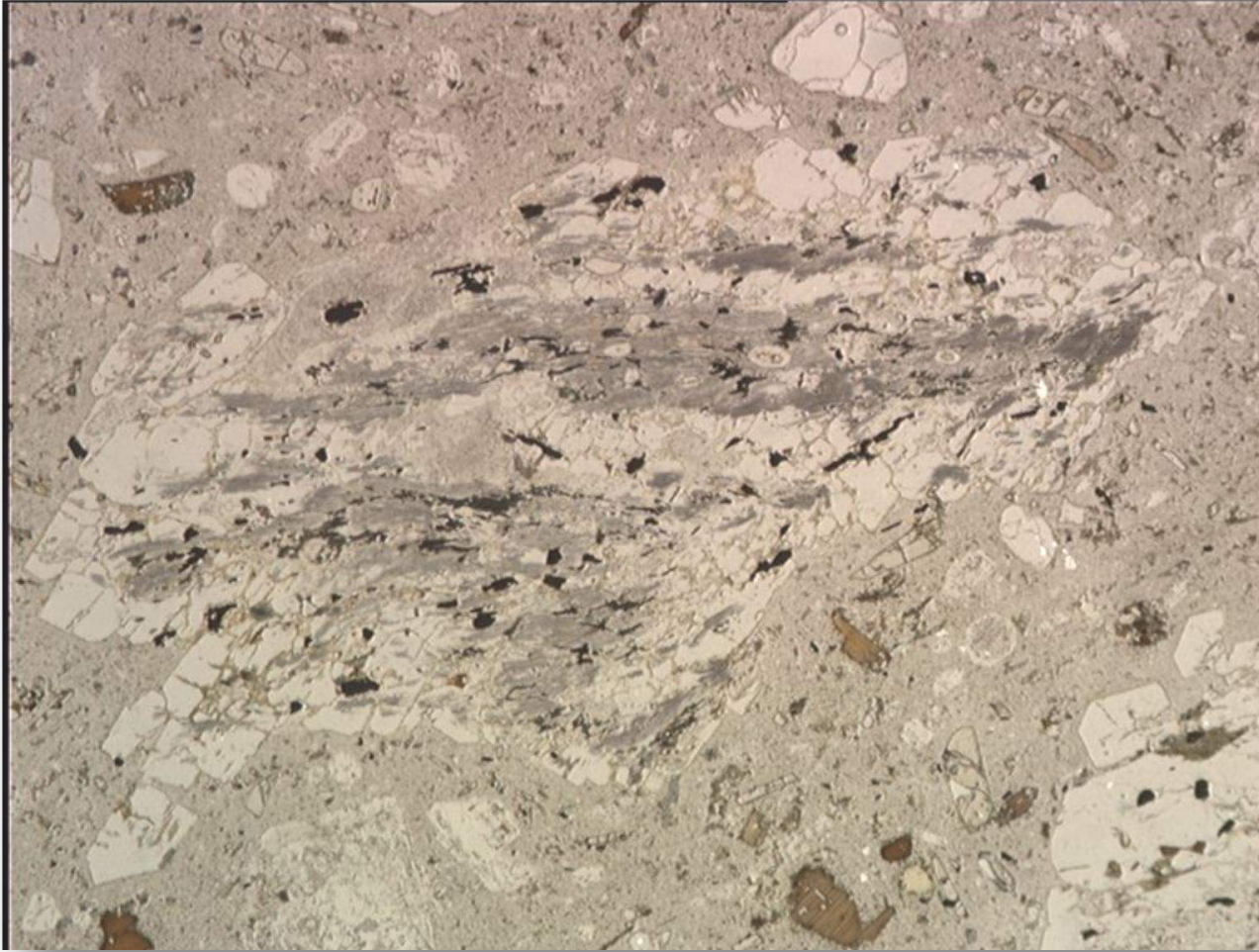
Liquide
andésitique



Liquide
dacitique



L'assimilation couplée à la cristallisation fractionnée (AFC)



Enclave de socle partiellement assimilée dans une dacite (arc d'Ambon, Indonésie)

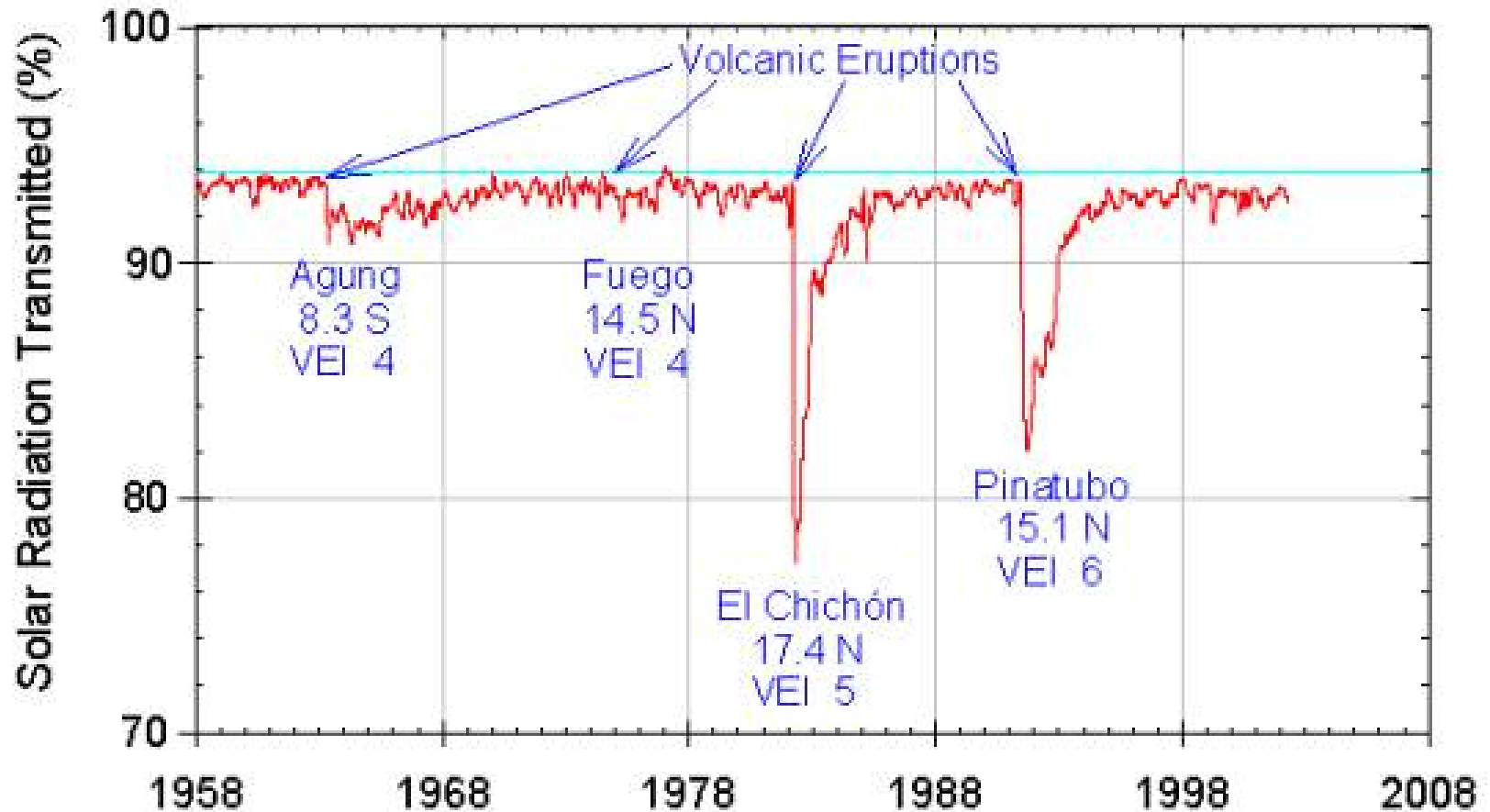
Effusion, extrusion, explosion,
caldéra...

Eruption plinienne Pinatubo

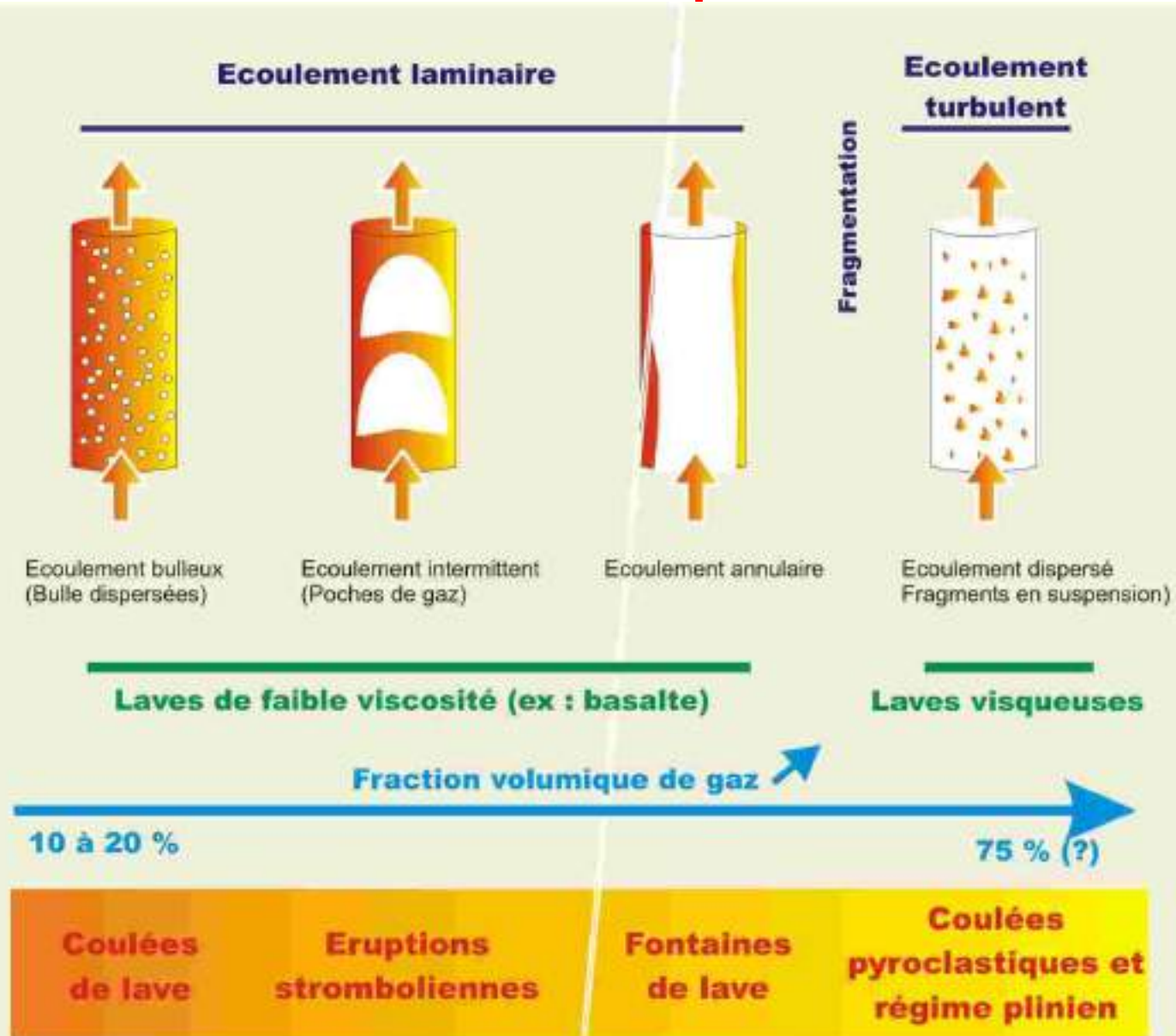


- 1991
- volume de matériaux émis est estimé à 10 km^3
- Hauteur cendres 34 km
- Nuées ardentes $> 16 \text{ km}$
- Nuage de cendres $> 125\,000 \text{ km}^2$
- refroidissement général de $0,6 \text{ }^\circ\text{C}$ de moyenne pendant deux à trois ans,

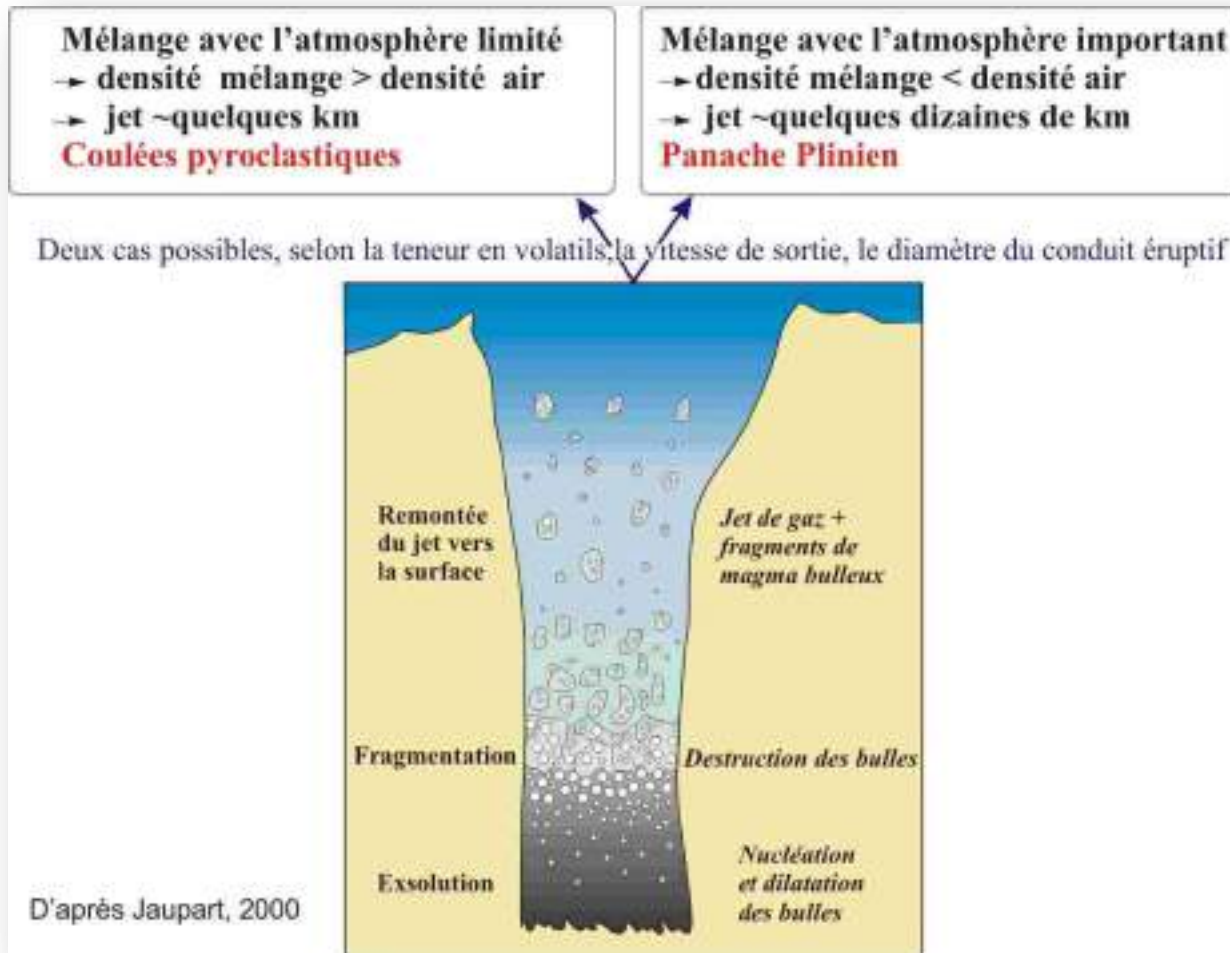
Mauna Loa Observatory Atmospheric Transmission



Effusif vs explosif

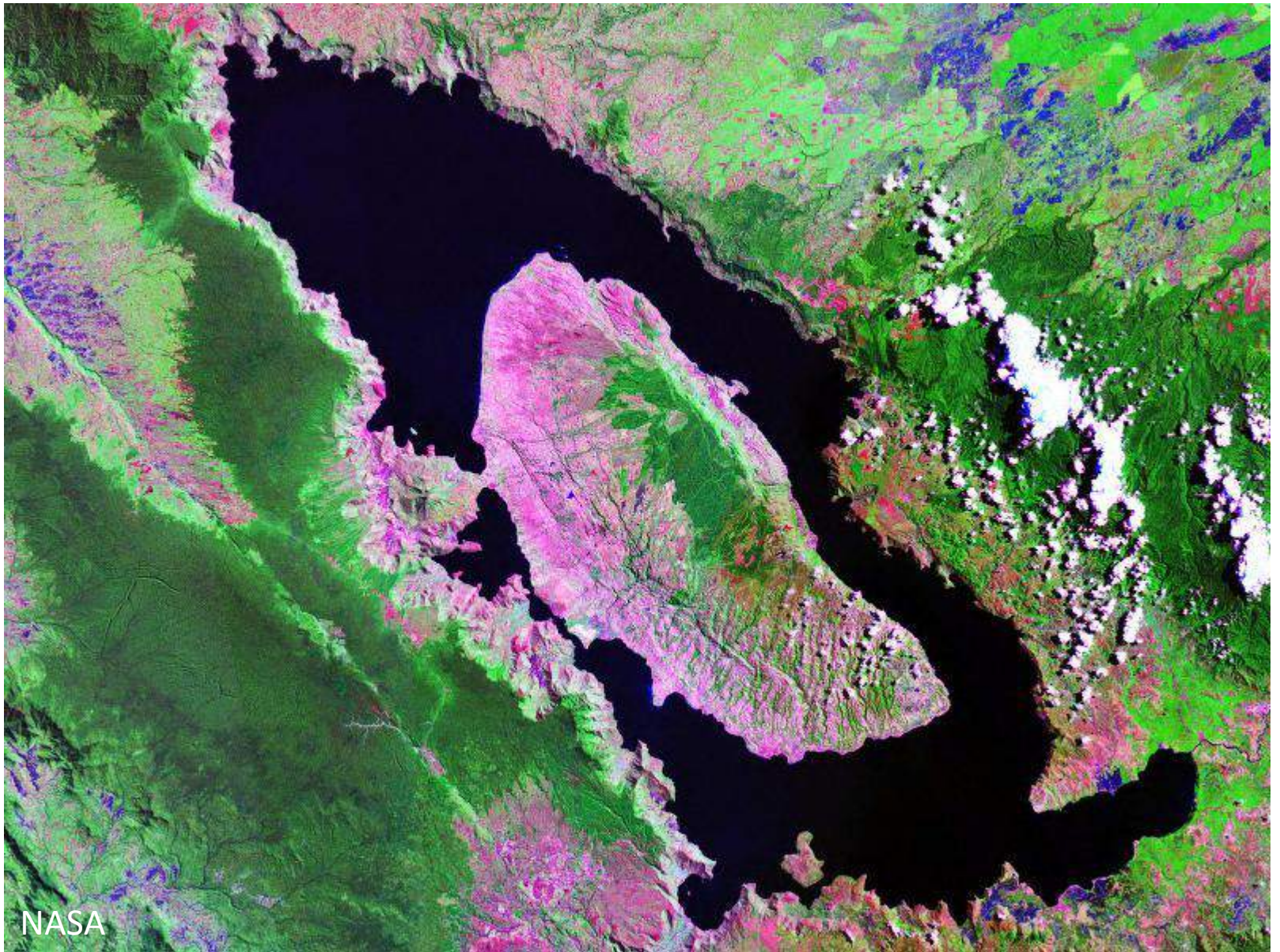


Coulées pyroclastiques vs panaches pliniens

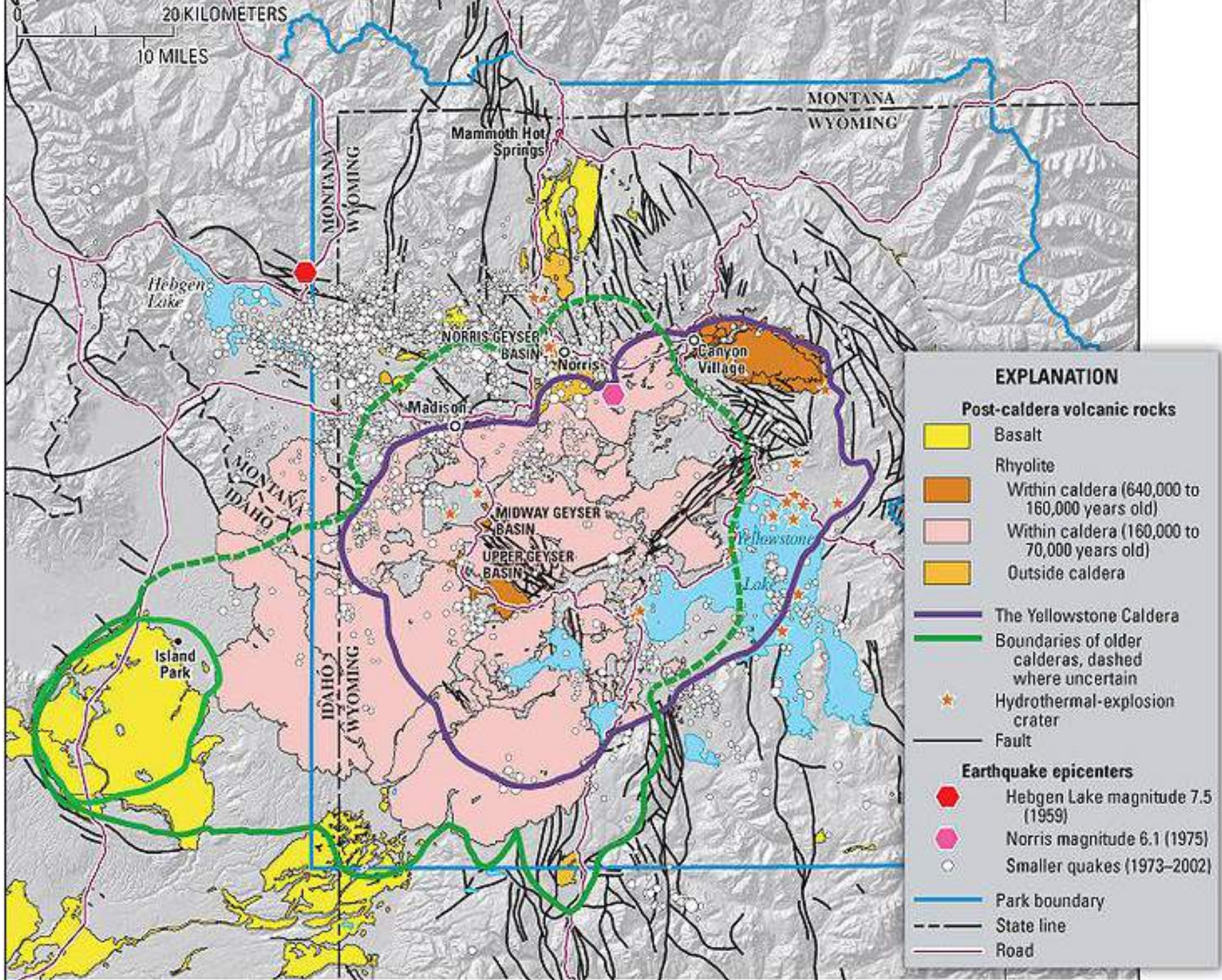


Indice d'explosivité volcanique

VEI	Classification	Description	Hauteur du nuage de cendres	Volume éjecté	Fréquence d'éruptions	Exemple	Nombre d'éruptions historiques
0	Hawaïen	non explosif	< 100 m	> 1 000 m ³	quotidien	Kilauea	-
1	Hawaïen / Strombolien	modéré	100-1 000 m	> 10 000 m ³	quotidien	Stromboli	-
2	Strombolien / Vulcanien	explosif	1-5 km	> 1 000 000 m ³	hebdomadaire	Galeras, 1992	3631
3	Vulcanien	catastrophique	3-15 km	> 10 000 000 m ³	annuel	Nevado del Ruiz, 1985	924
4	Vulcanien Plinien	cataclysmique	10-25 km	> 0,1 km ³	≥ 10 ans	Galunggung, 1982	307
5	Plinien	paroxysmique	> 25 km	> 1 km ³	≥ 50 ans	Vésuve, 79 ; Mont Saint Helens, 1980	106
6	Plinien / Ultra-Plinien	colossal	> 25 km	> 10 km ³	≥ 100 ans	Krakatoa, 1883 ; éruption minoenne (Santorin), 1600 avant JC	46
7	Ultra-Plinien	méga-colossal	> 25 km	> 100 km ³	≥ 1 000 ans	Tambora, 1815	4
8	Ultra-Plinien Supervolcan	apocalyptique	> 25 km	> 1 000 km ³	≥ 10 000 ans	Toba, 74 000 ans ; Yellowstone, 600 000 ans	0



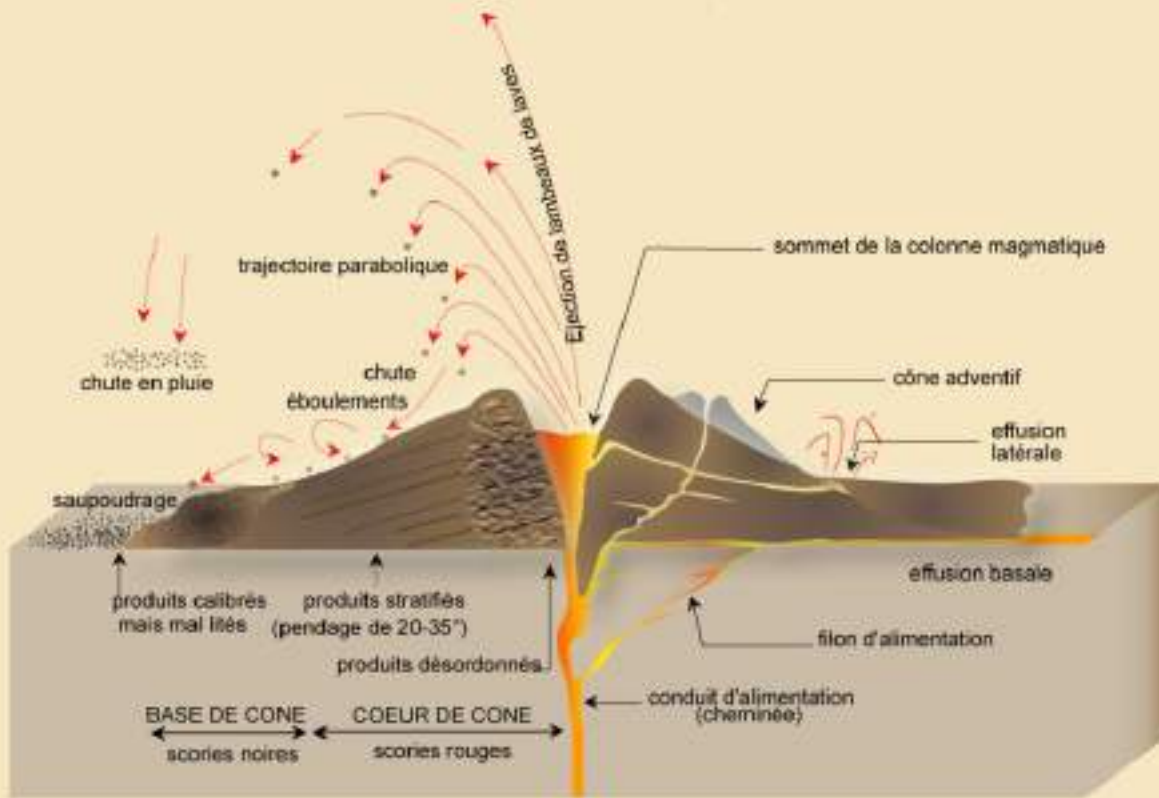
Toba 100x30 km, Sumatra





Taal Caldera : 500 000 à 100 000 ans; 25 km de diamètre ; dernière éruption 1977 : phréatique

Cône de scories stromboliens

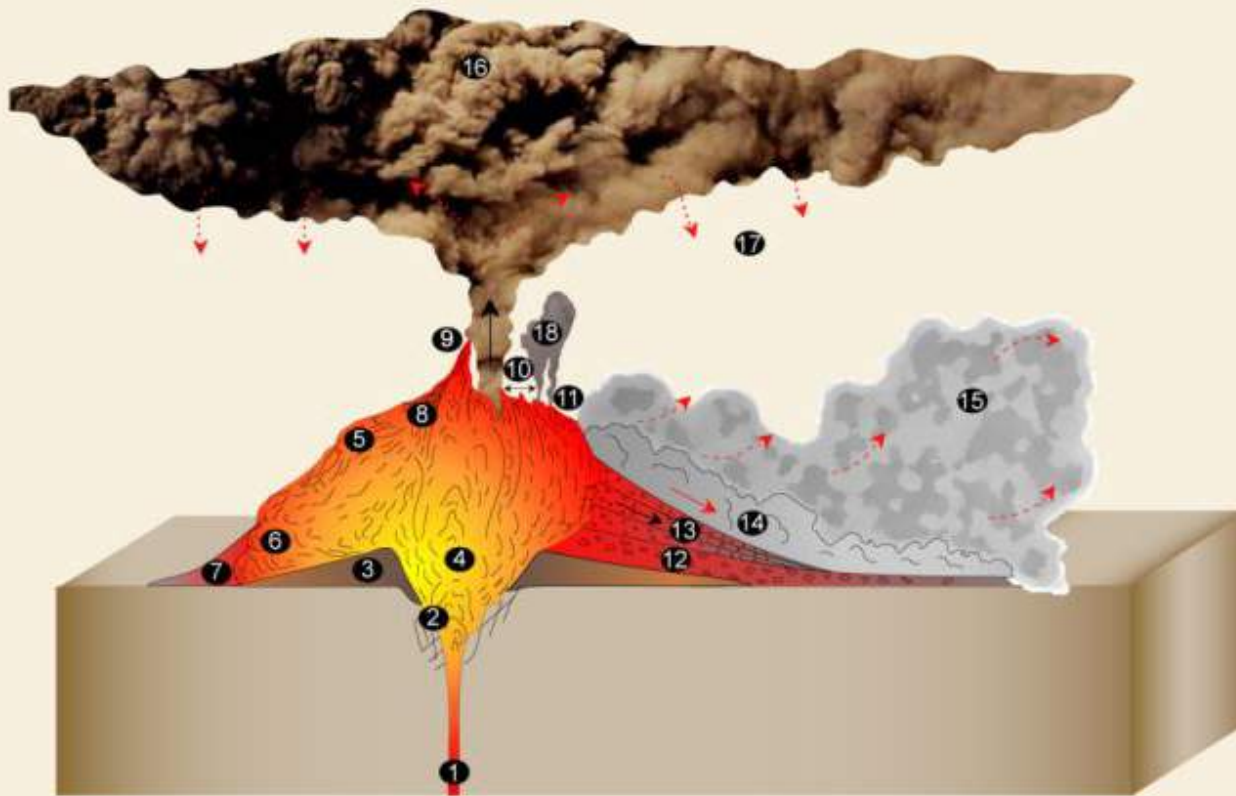


Structure et fonctionnement d'un cône de scories ("type strombolien")

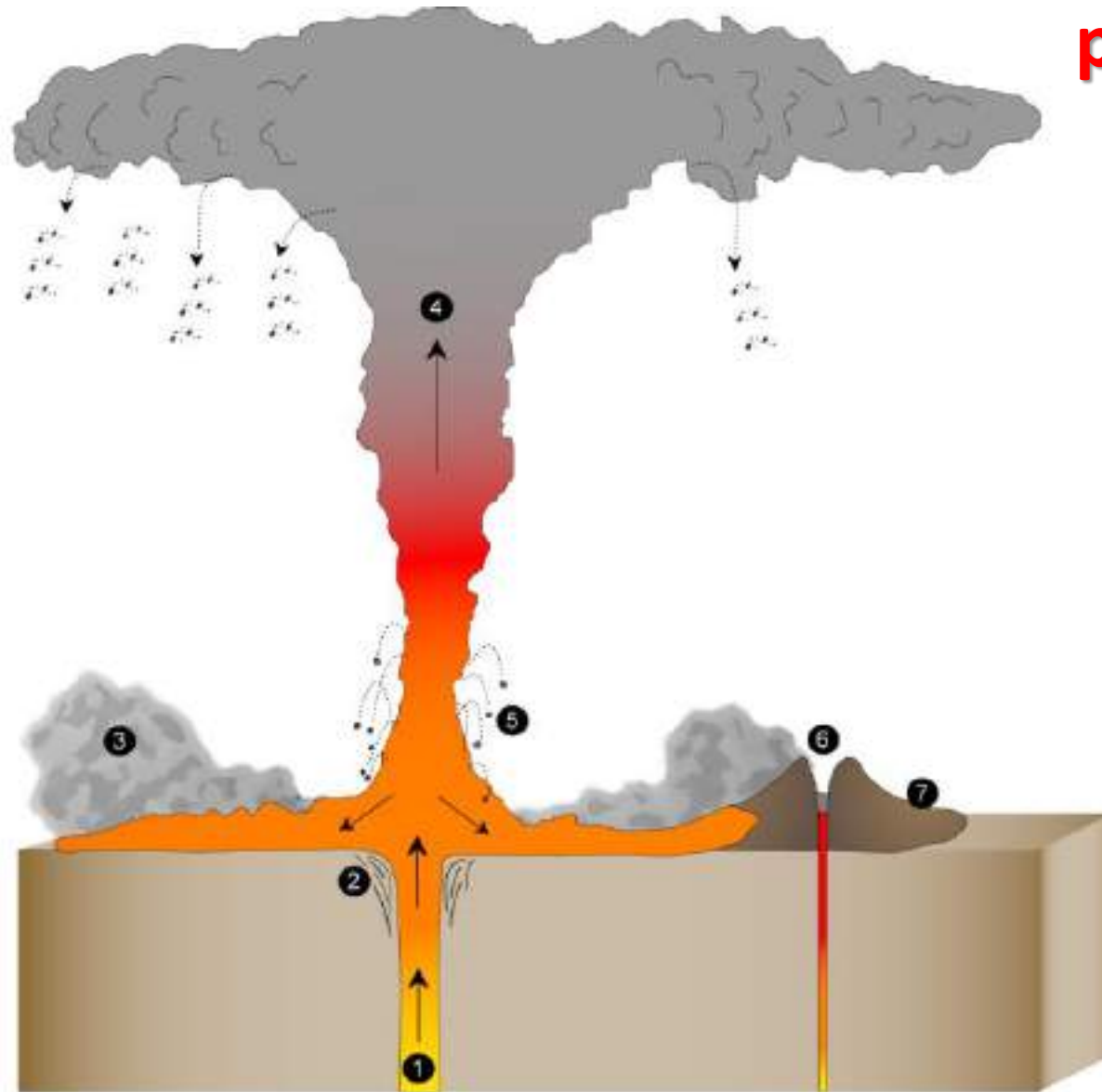


Barbieri

Dôme



Eruption phréatomagmatique





Harrat Khaybar, Arabie, NASA

Lahars



Avalanches de débris

Mt. St. Helens,
18 Mai, 1980



Volcanisme en France

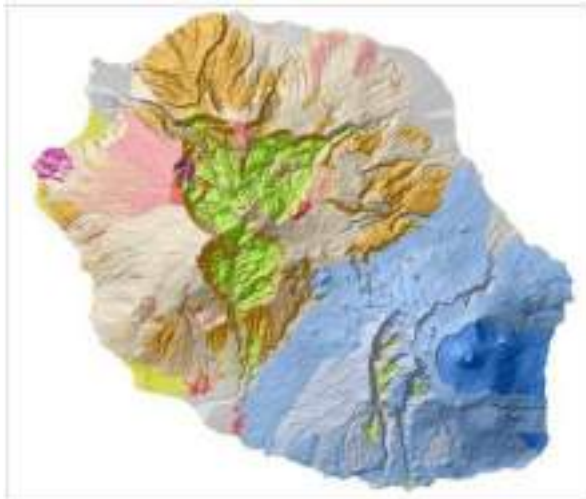
Outre-Mer

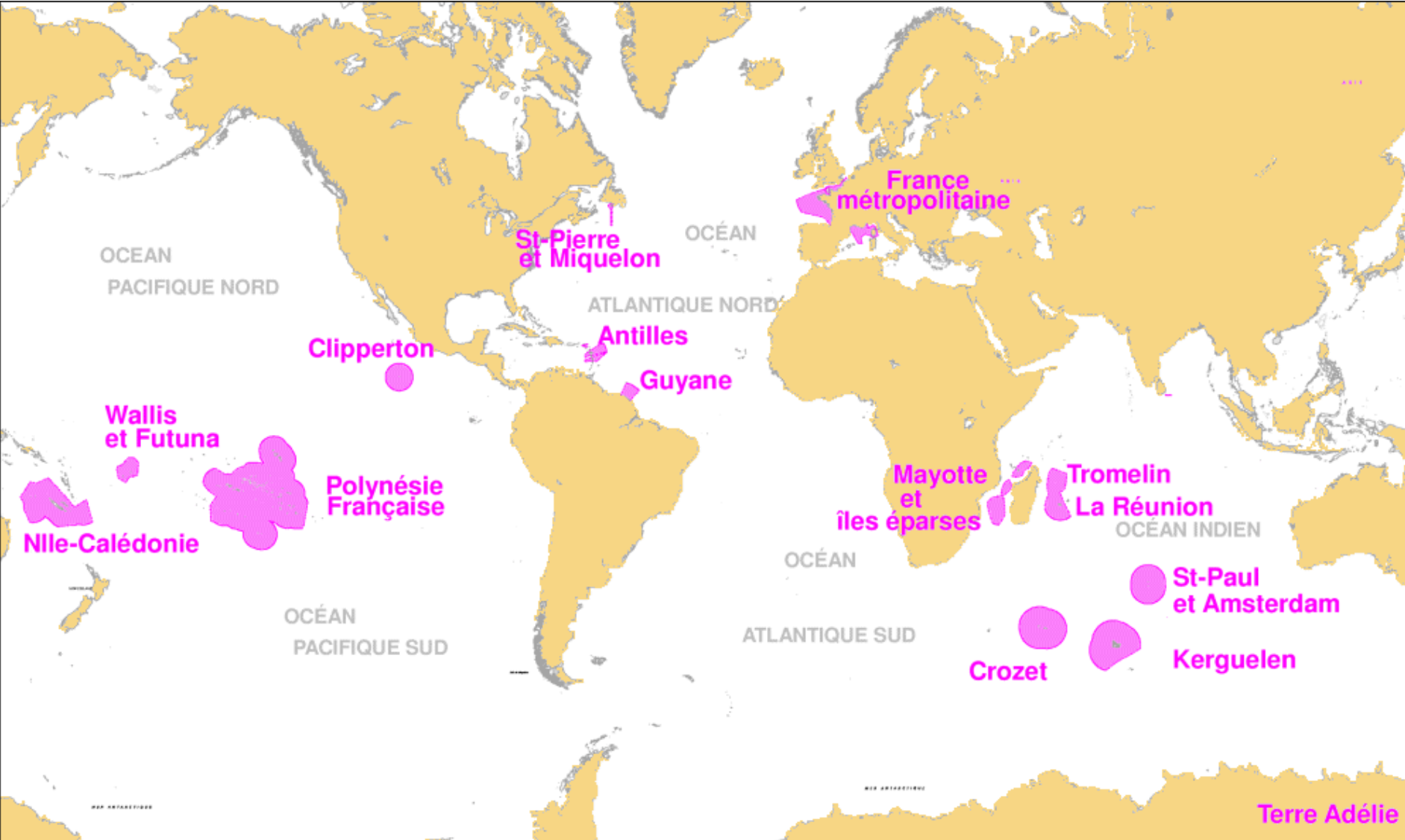
France

Massif central

Chaîne des Puys

Cantal





Nlle-Calédonie

Wallis et Futuna

Clipperton

St-Pierre et Miquelon

Antilles

Guyane

Polynésie Française

Mayotte et îles éparées

Tromelin

La Réunion

St-Paul et Amsterdam

Crozet

Kerguelen

Terre Adélie

Océan Pacifique Nord

Océan Atlantique Nord

Atlantique Nord

Océan Pacifique Sud

Océan Atlantique Sud

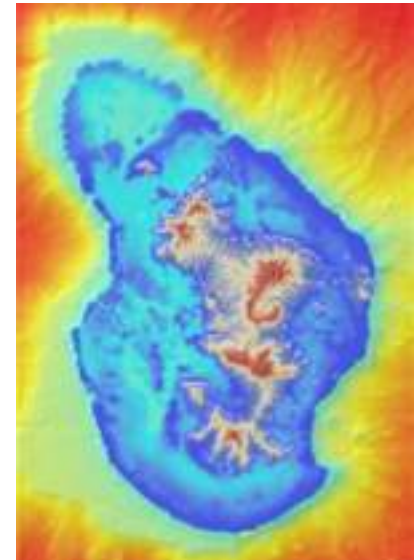
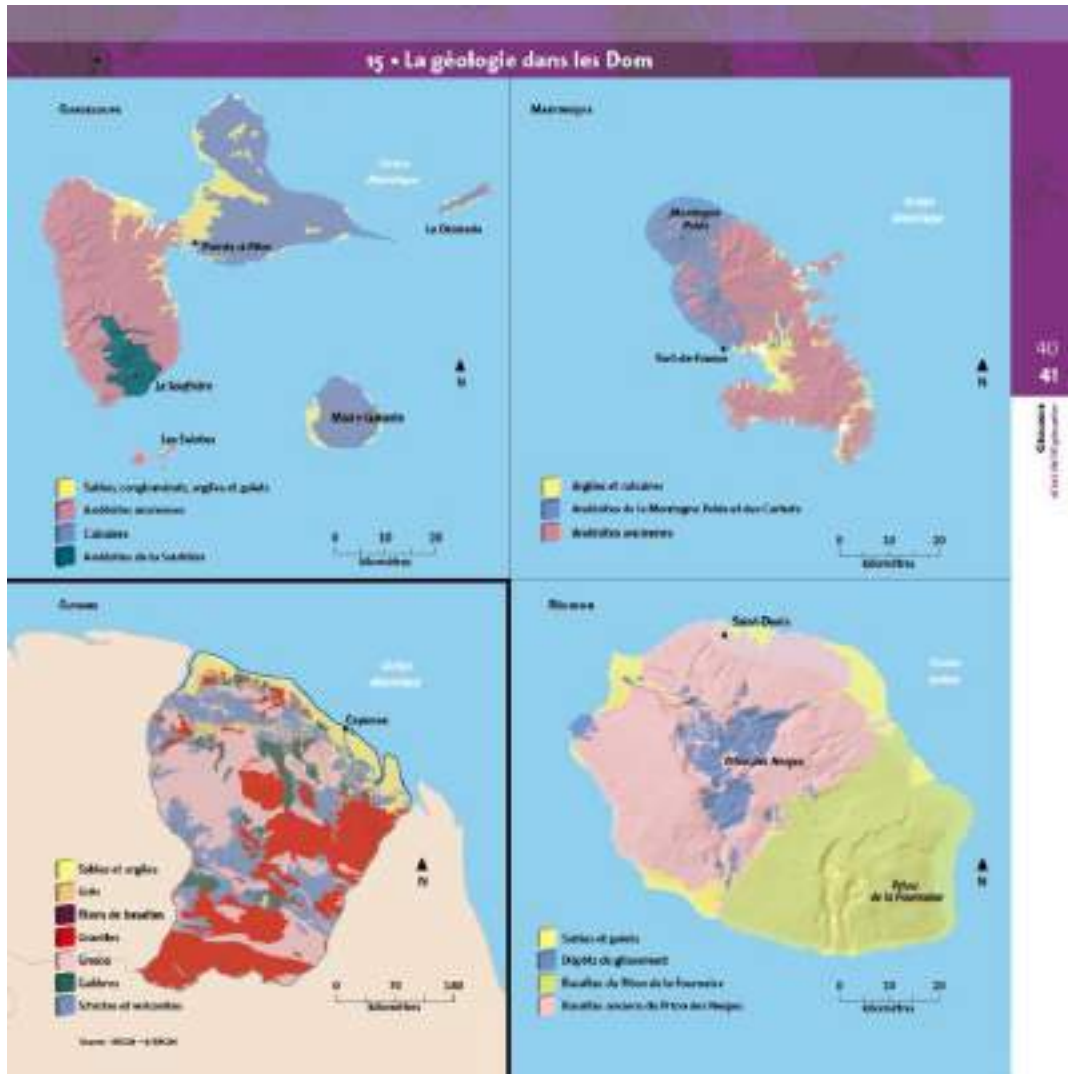
Océan Indien

Atlantique Sud

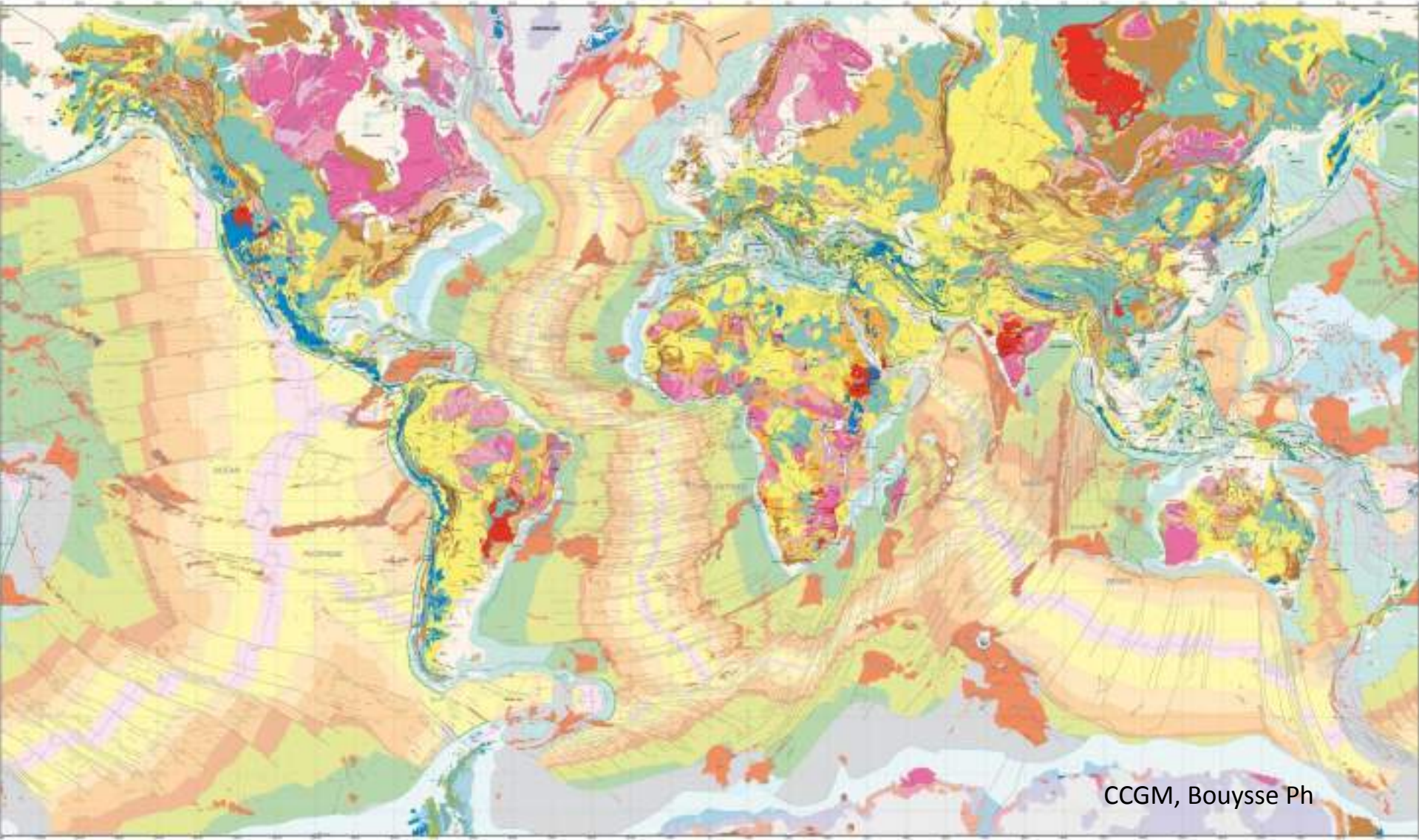
France métropolitaine

	Population	Densité	Superficie	ZEE
Bassas da India	0	0	1	123700
Clipperton	0	0	6	425220
Archipel des Crozet	20	0.04	505	562000
Europa	15	0.54	28	127300
Îles Glorieuses	15	3	5	48350
Guadeloupe	440000	258.52	1702	86000
Guyane	170000	1.87	91000	130140
Juan de Nova	15	3.75	4	61050
Îles Kerguelen	100	0.01	6993	547000
Martinique	394000	349.29	1128	47000
Mayotte	178000	475.94	374	62000
Nouvelle-Amsterdam	20	0.33	60	205000
Nouvelle-Calédonie	170000	8.92	19058	1740000
Polynésie française	250000	59.52	4200	4867370
Réunion	760000	302.55	2512	318300
Île Saint-Barthélemy	6852	326.29	21	4000
Île Saint Martin	28524	528.22	54	1000
Saint-Paul	0	0	7	260000
Saint-Pierre-et-Miquelon	6530	26.98	242	10000
Tromelin	5	5	1	280000
Wallis et Futuna	15000	75	200	271050
France d'outre-mer (sans la Terre Adélie)	2419096	18.88	128101	10176480

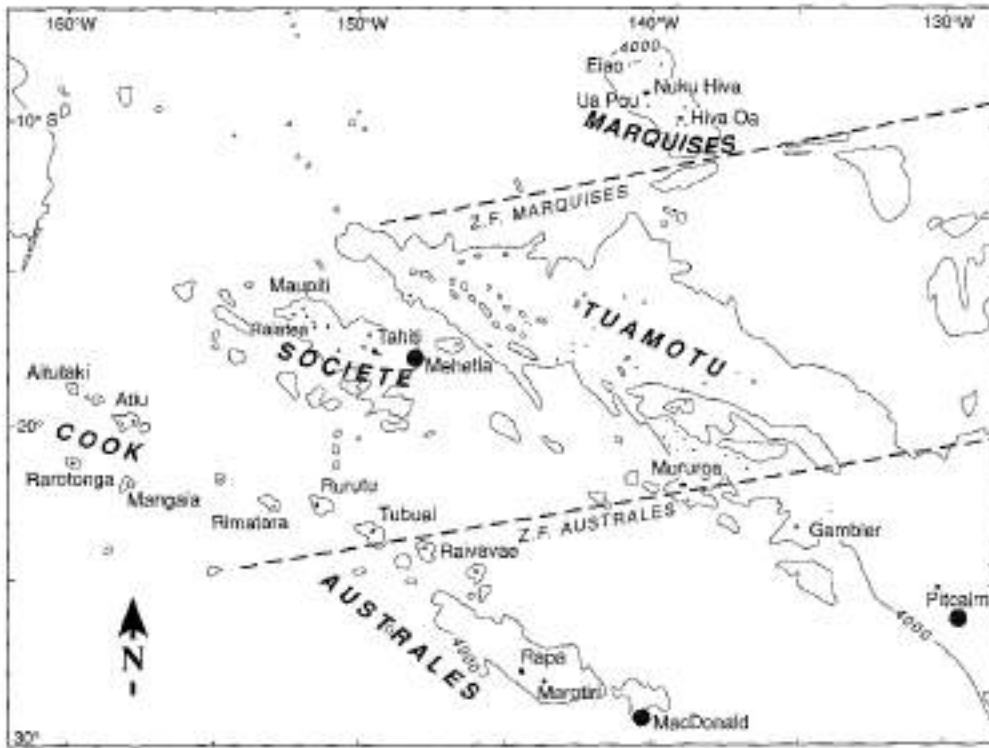
4+1 DOM dont 4 volcaniques et 3 volcans avec une activité historique



Diversité géodynamique



Les archipels de Polynésie Française - Magmatisme intraplaque océanique



Pacifique Sud

15 millions de km² avec 5000 km² de terres émergées

CO d'âge Crétacé Sup- Oligocène, moins profonde de 250 à 750 m que ses équivalents Pac N ou Atl N : superbombement Polynésien

Depuis ca 40 Ma : activité volcanique ininterrompue

Cinq alignements:

-Australes-Cook

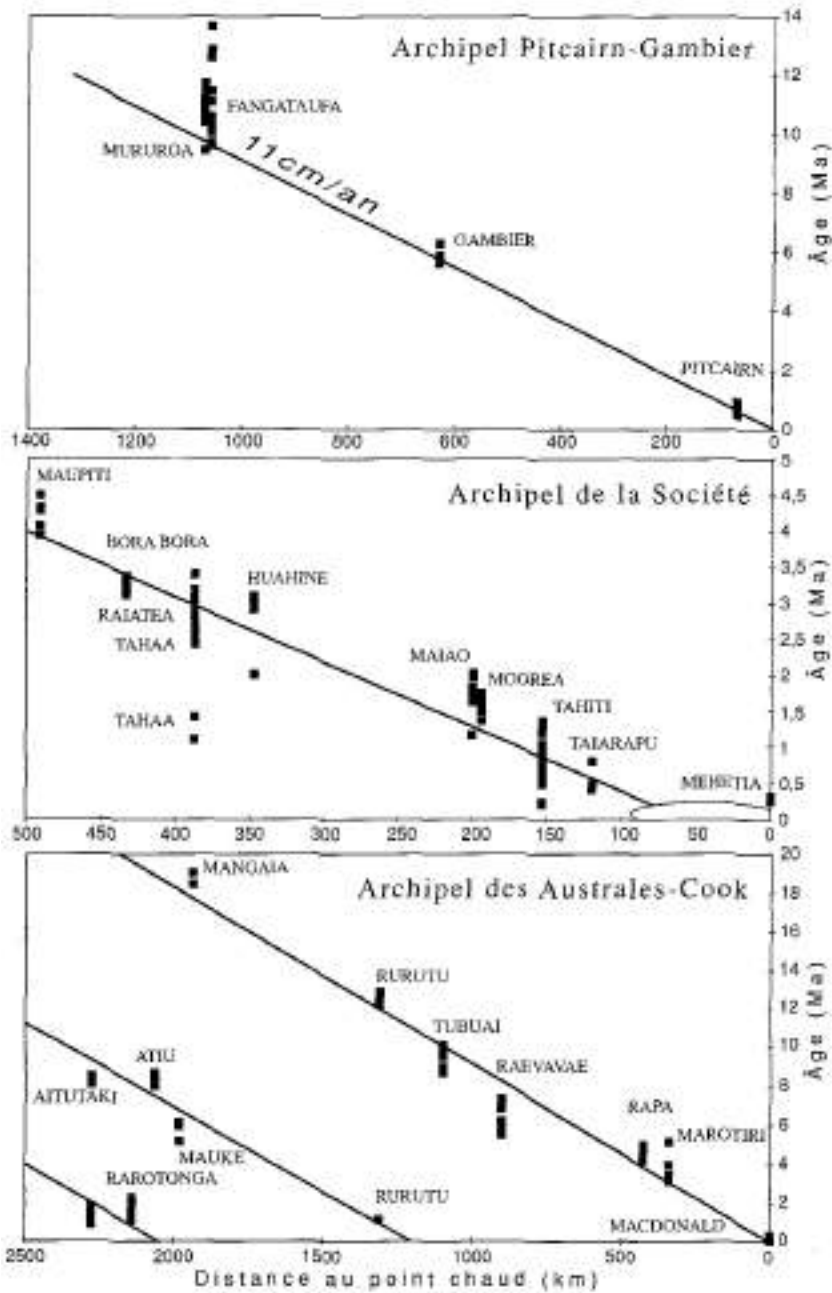
-Société

-Pitcairn-Gambier (prolongé par atolls de Mururoa et Duc de Gloucester)

-Tuamotou

-Marquises

Direction d'ensemble SE-NW (sauf Marquises) ~ déplacement absolu de la Plaque Pacifique (11 cm/an)

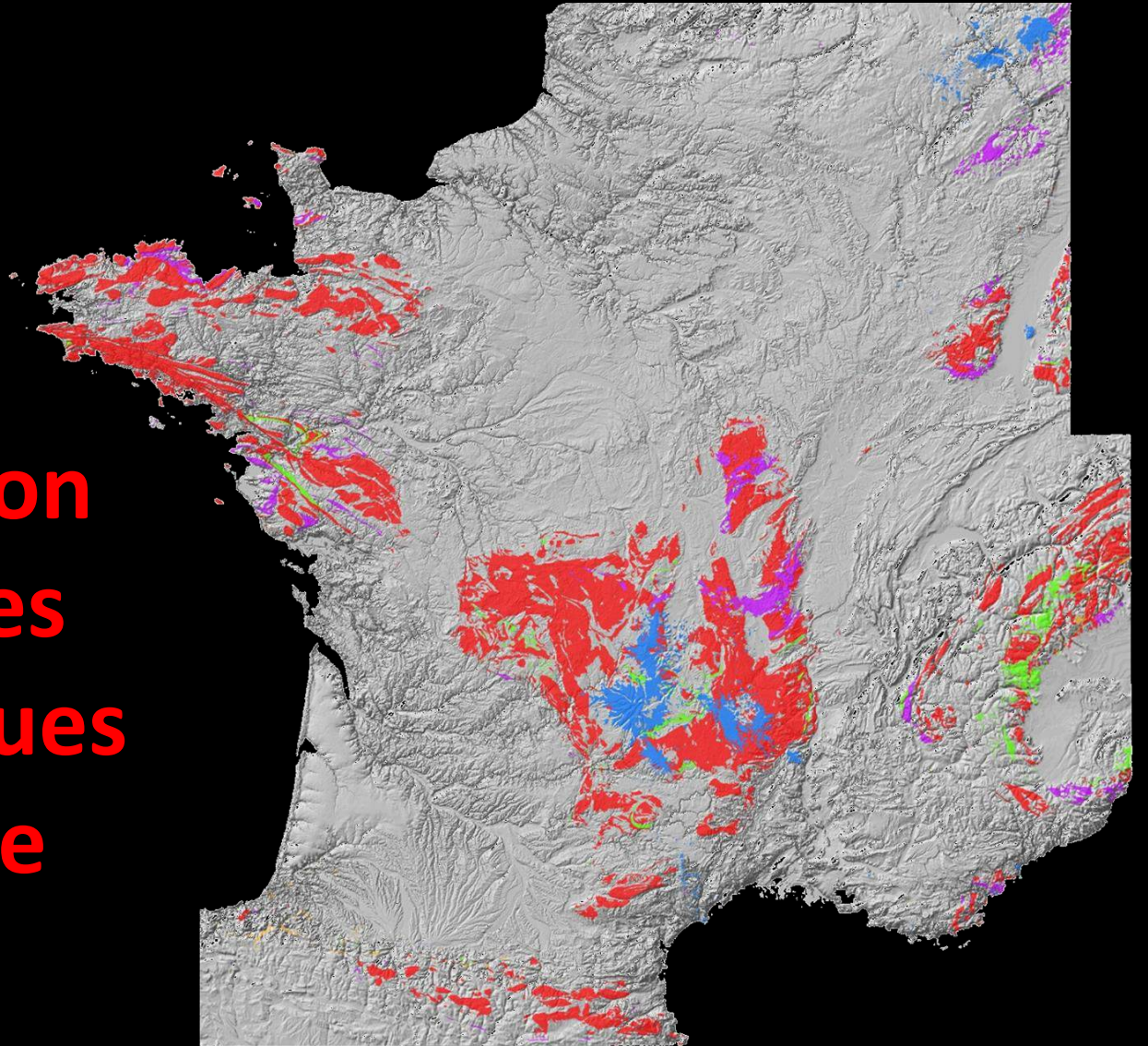


Volcans actifs ou très récents au SE
 Indiquent la position du "Point
 chaud"

Cartographie géologique outre-mer

Raster								
	1/12 500	1/20 000	1/25 000	1/30 000	1/40 000	1/50 000	1/100 000	1/500 000
GUADELOUPE		Saint-Barthélemy	la Désirade			Saint-martin		
		Les Saintes				Grade-Terre		
						Basse-Terre		
						Marie-Galante		
GUYANE							Baie de Oyapock	Guyane
							Cayenne	
							Haut Kourou	
							Kourou	
							Iracoubo	
							Point Behague	
							Régina	
						St-Elie-Adieu-Vat		
MARTINIQUE						Martinique		
POLYNESIE	Raïvavae		Eiao	Ua Huka	Huahine	Nuku Hiva	Raiatea et Tahaa	
			Rurutu et Tubuai	Bora-Bora / Maupiti	Tahiti		Hiva_Ua (en cours de validation CCGF)	
			Moorea	Ua Pou (en cours)				
REUNION						Réunion		
MAYOTTE						Mayotte		
ST PIERRE ET MIQUELON						St-Pierre et Miquelon		

**Distribution
des roches
magmatiques
en France**



Cadre géodynamique du volcanisme méso-cénozoïque en France

1. Le rifting de la Téthys est-il préservé dans les Alpes et les Pyrénées ?

2. Où trouve-t-on les vestiges de l'océan alpin ?

3. Quelle est l'origine du volcanisme « Massif central » ?

4. Où est passé le volcanisme associé à la subduction de l'Océan Alpin ?

5. Le magmatisme lié à l'ouverture du bassin liguro-provençal

Le rifting de la Téthys est-il préservé dans les Alpes et les Pyrénées ?

- Spillites du Col d'Ornon : Trias sup
- Pyrénées : Ophites 199+/-2 Ma
- Bretagne : dykes orientés NW-SE jusqu'à 30m d'épaisseur datés à 200 Ma +/- 5Ma. Entre MORB N et basaltes alcalins

Le magmatisme associé aux rifts océaniques - Où trouve-t-on les vestiges de l'océan alpin ?

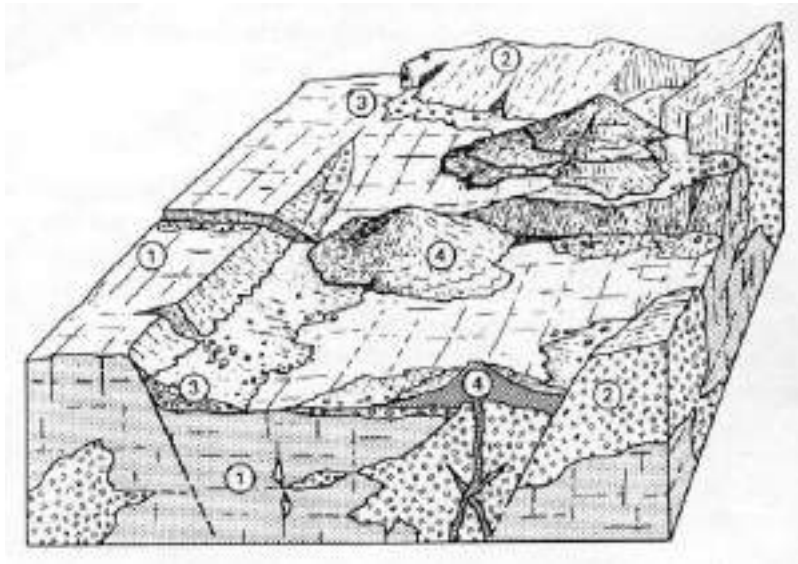
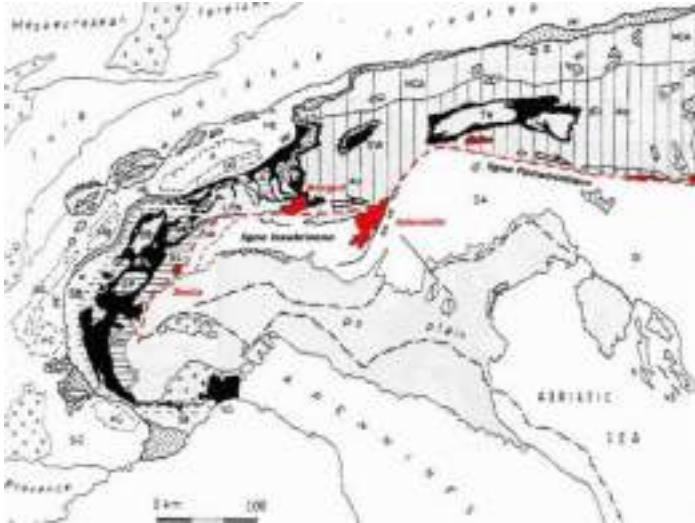


Figure : reconstitution du fond de l'océan alpin. 1 manteau (lherzolite) serpentinisée ; 2 gabbros ; 3 brèche de talus ; 4 - volcans à laves en coussins. (d'après Lagabrielle et Cannat, 1990)

- sédiments qui surmontent les basaltes en coussins et par endroits les serpentinites sont principalement des radiolarites et des calcaires pélagiques datés du Jurassique supérieur (callovo-oxfordien).
- datations U-Pb sur mono zircons (Costa et Caby, 2001) dans une veine de diorite et une albitite ou syénite alcaline, situent sa formation aux alentours de 156 ± 3 Ma (dr) à 148 ± 2 Ma (sa).
- âge Sm-Nd obtenu sur roche totale, plagioclase et augite séparés d'un même gabbro (Chalot-Prat et al. 2003) est de 142 ± 22 Ma (début Jurassique Supérieur).
- âge Sm-Nd sur roche totale à 198 ± 22 Ma (Costa et Caby, 2001), déduit de la corrélation entre six gabbros issus de corps distincts, doit être considéré avec prudence dans la mesure où les relations génétiques entre ces gabbros ne sont pas établies (Chalot-Prat et al., 2006).



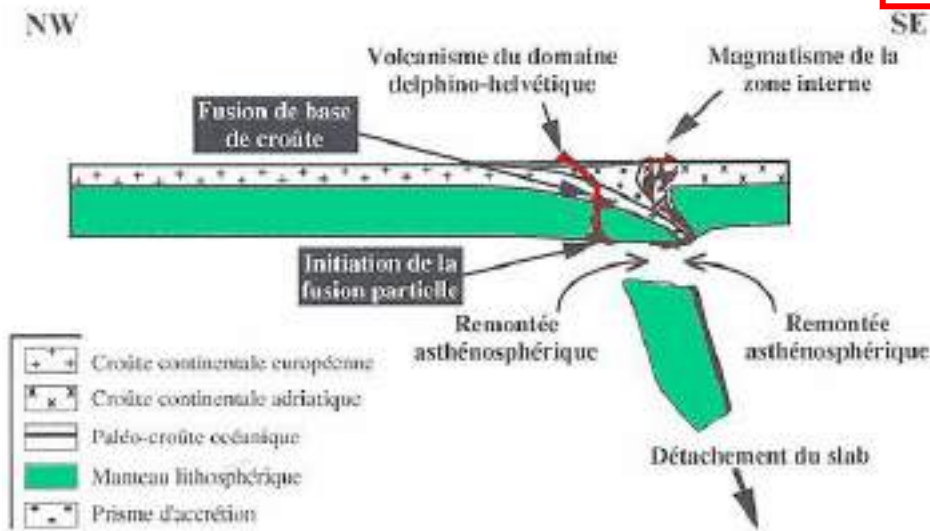
Où est le magmatisme associé à la subduction de l'océan alpin ?



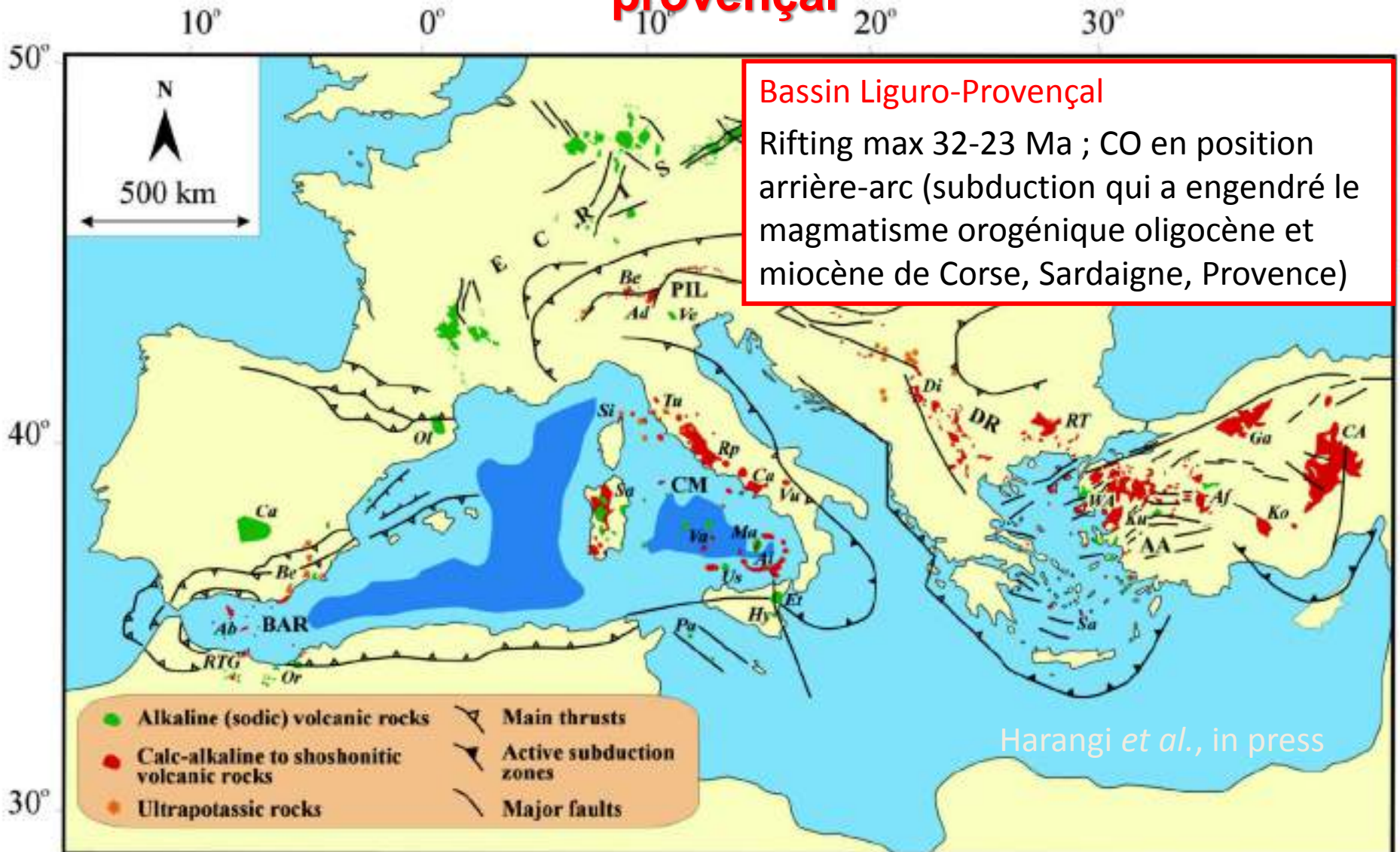
Intrusions granitiques et dykes basiques associés à la ligne Périadriatique-Insurbrienne

42 à 25 Ma, avec un pic entre 33 et 29 Ma

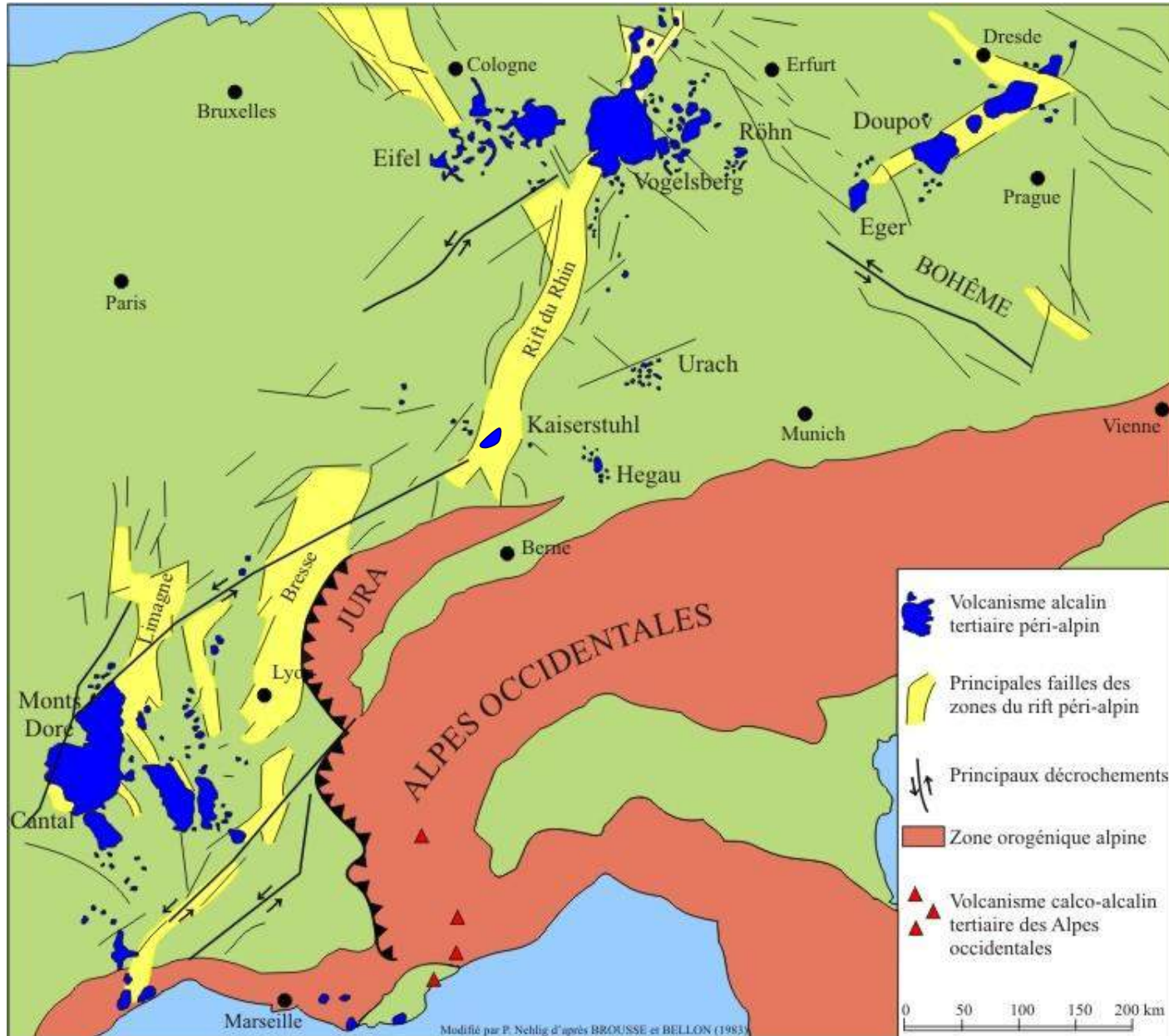
Affinité orogénique : fusion d'un manteau contaminé par des fluides ou peut-être par du matériel crustal continental. Fusion en contexte post-collision, peut-être induite par la rupture de la lithosphère téthysienne ?

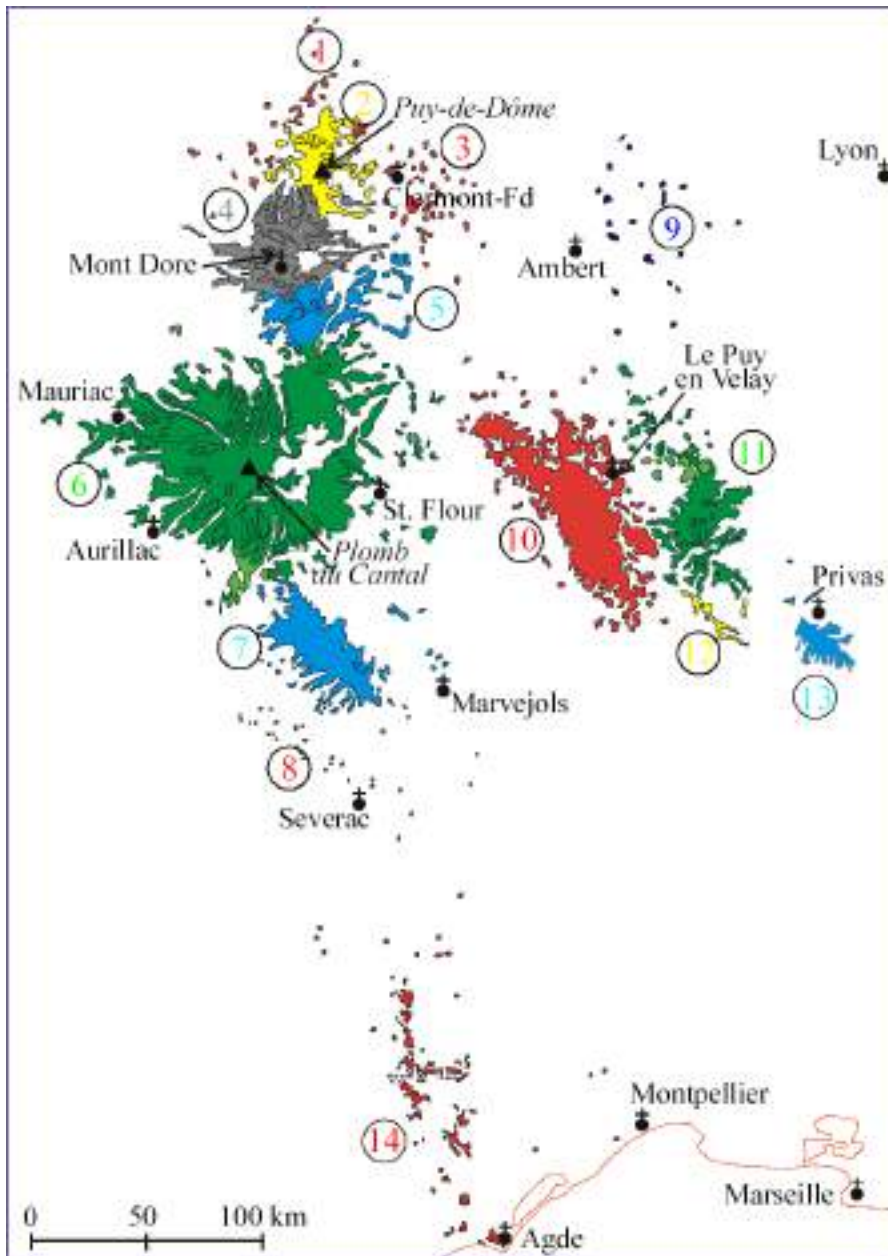


Le magmatisme lié à l'ouverture du bassin liguro-provençal



Magmatisme associé au Rift Ouest Européen





- 1 - Chaîne de la Sioule (5 à 1 Ma)
- 2 - Chaîne des Puys (150 000 à 3500 ans)
- 3 - Limagne (15 à 2 Ma)
- 4 - Mont Dore (2,5 à 0,2 Ma)
- 5 - Cézallier (8 à 3 Ma)
- 6 - Cantal (11 à 3 Ma)
- 7 - Aubrac (9 à 6 Ma)
- 8 - Causses (14 à 2 Ma)
- 9 - Forez (15 à 13 Ma)
- 10 - Deves (2,7 à 0,6 Ma)
- 11 - Velay (14 à 1 Ma)
- 12 - Vivarais (35 000 à 10 000 ans)
- 13 - Coirons (8 à 5,5 Ma)
- 14 - Escandorgue-Languedoc (3,5 à 0,8 Ma)

D'après Nehlig et Traineau (1998)

Tomographie sismique

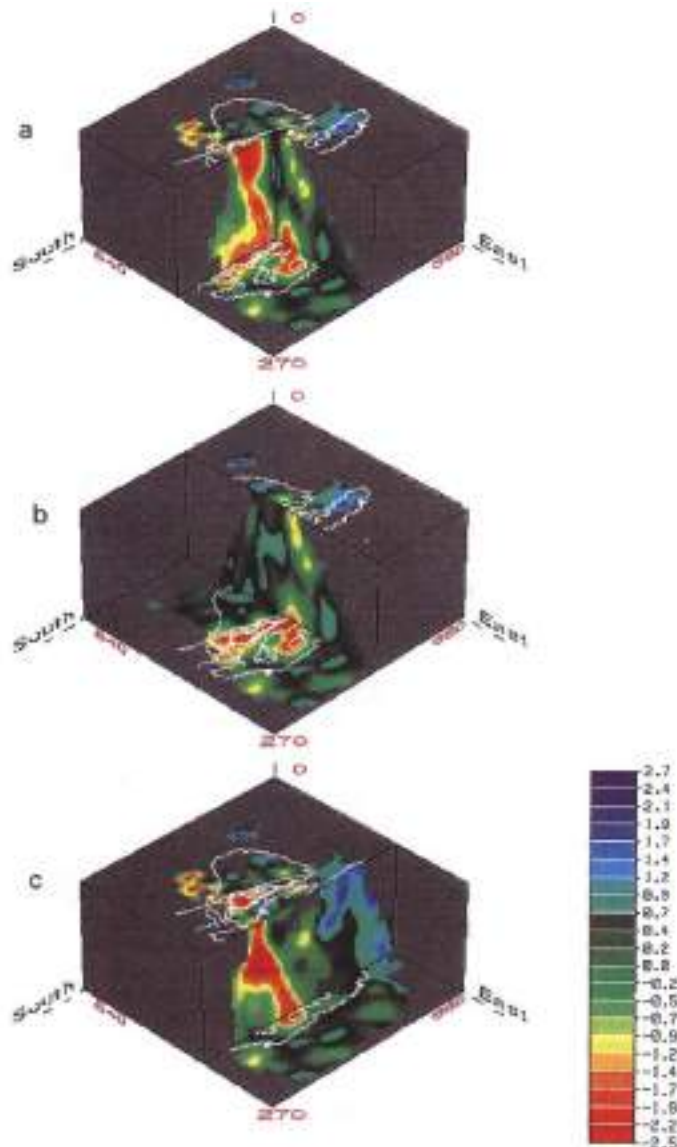
Massif Central

Deux zones à faibles vitesses sismiques (ondes P), visibles jusqu'à 250 km :

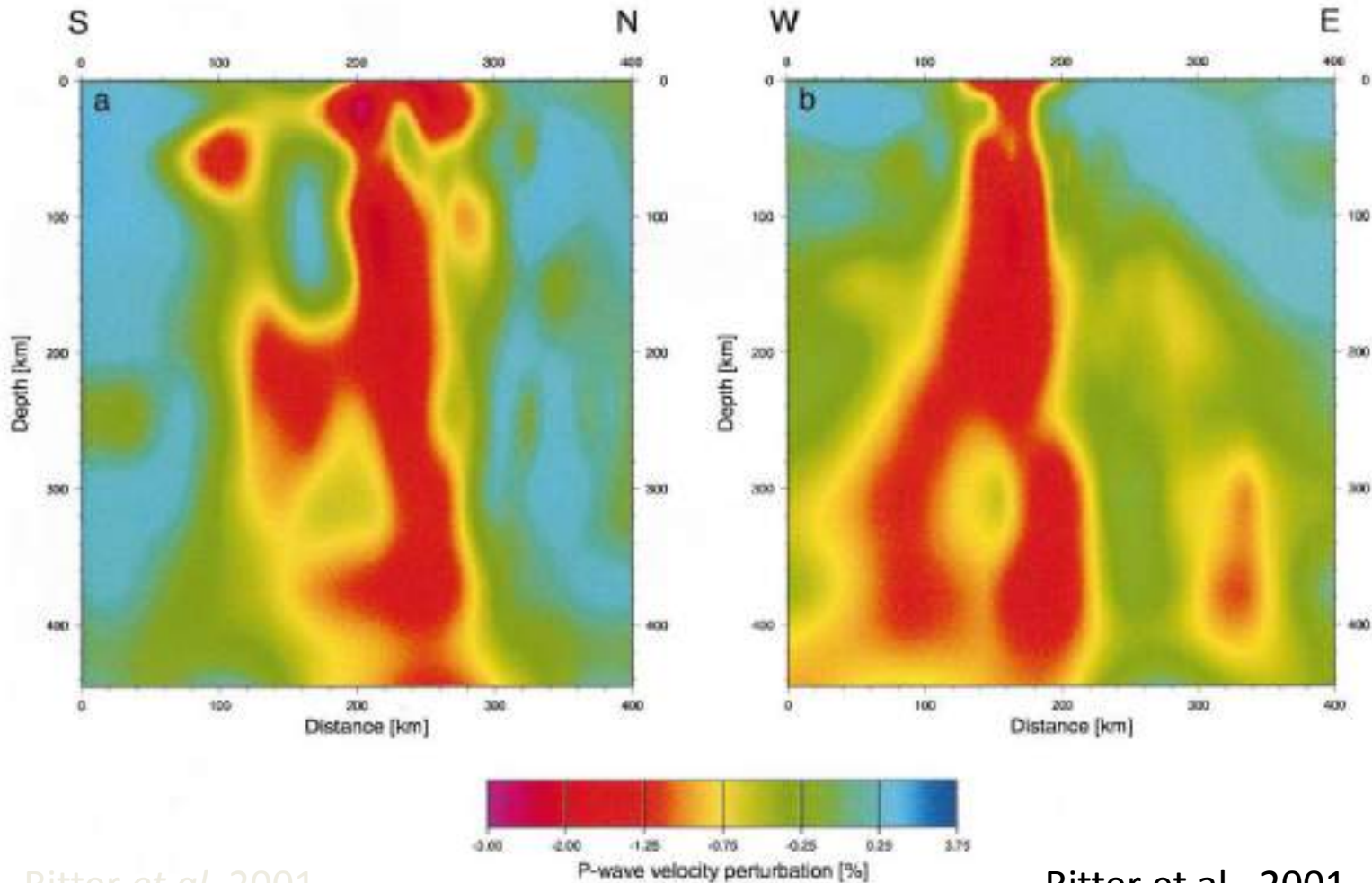
- zone du Cantal - Mont Dore

- et la seconde sous le Devès-Velay

➤ Zones de ~ 200 km, contraste de température de 150 à 200°



Tomographie sismique Eifel

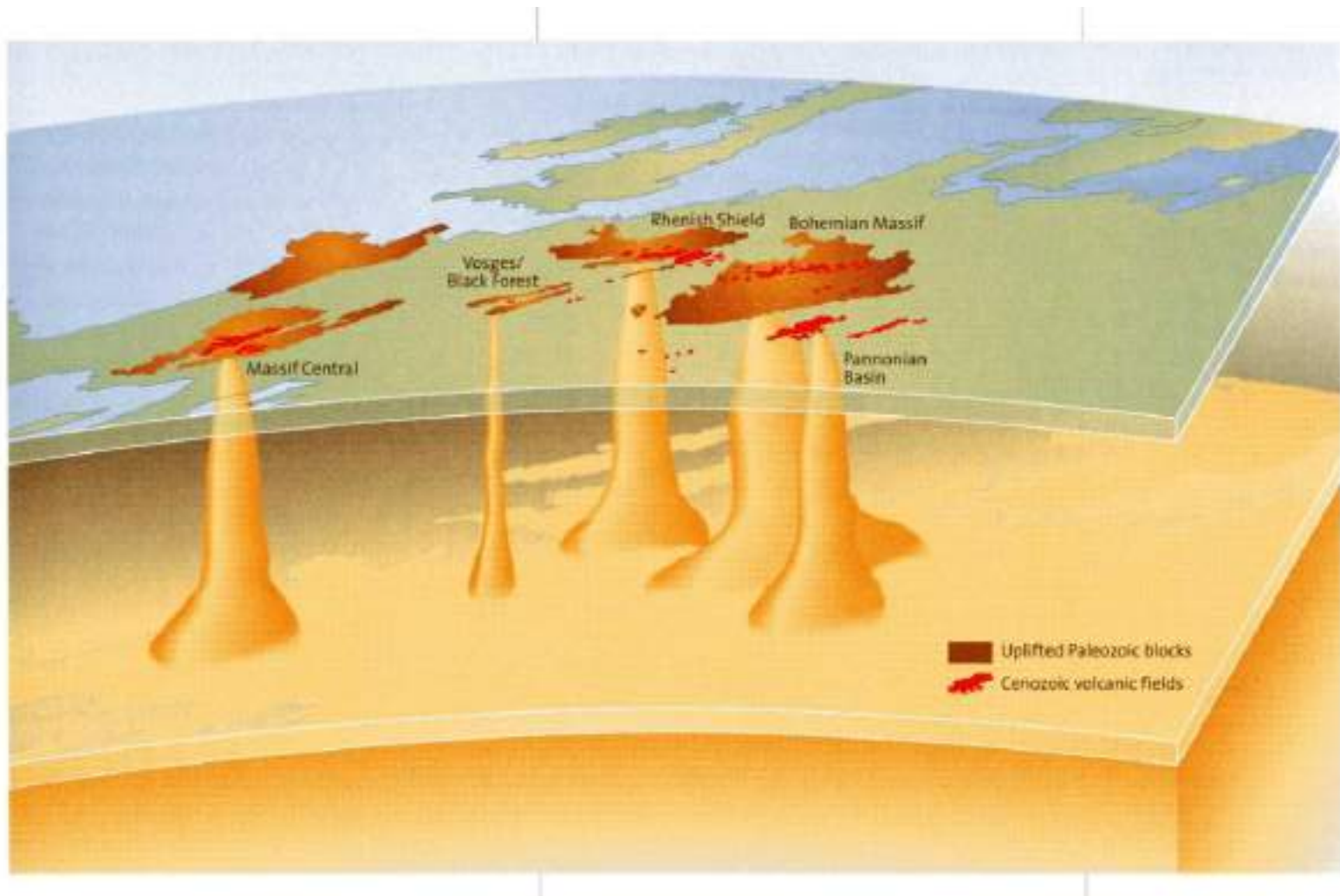


Ritter *et al.*, 2001

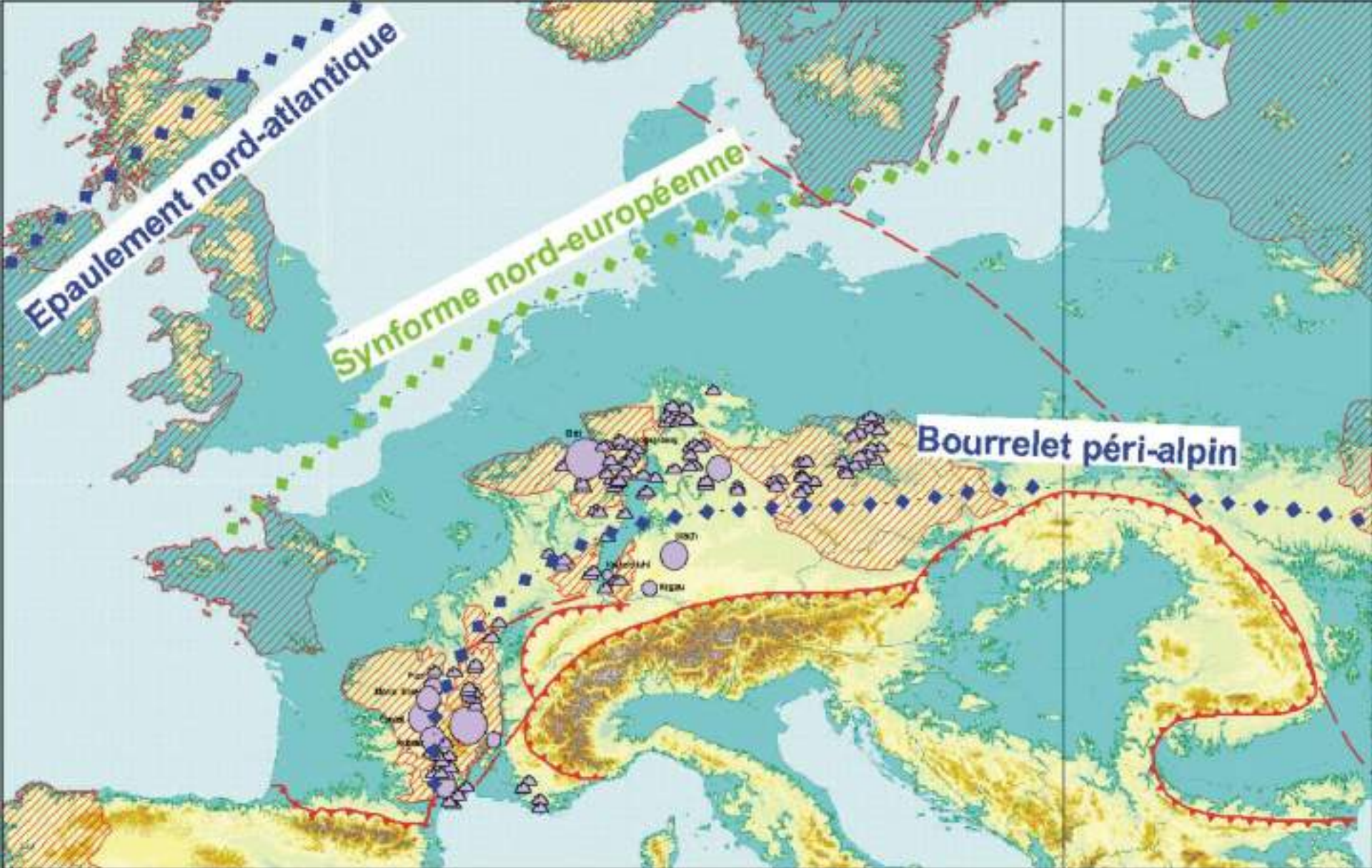
Ritter *et al.*, 2001

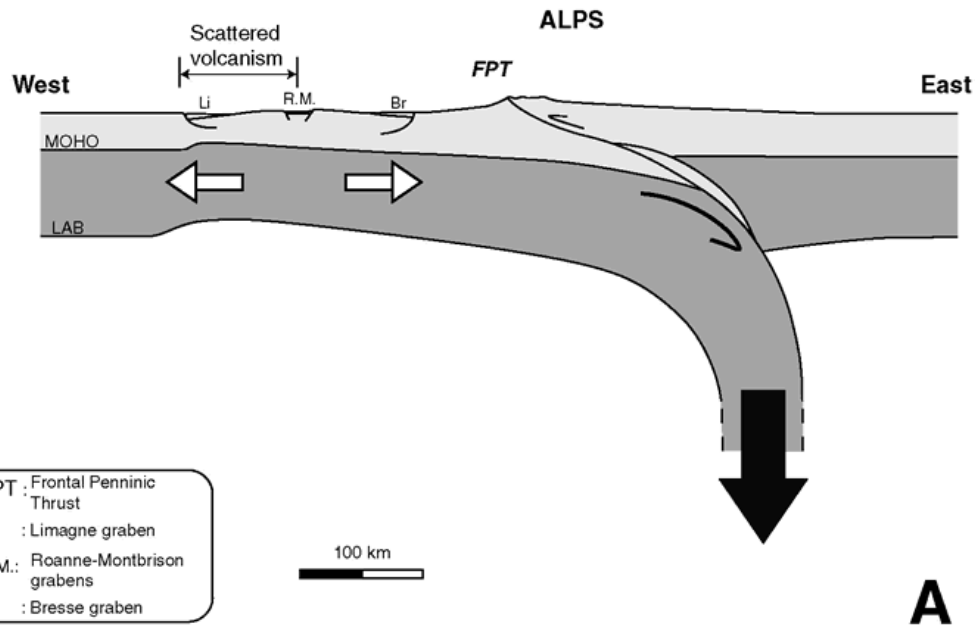
Anomalie de vitesse des ondes P de $\sim 2\%$, environ 100 km de large, de 70 jusqu'à au moins (?) 400 km sous l'Eifel

Granet, Wilson... : Remontée de petits diapirs mantellique, de 400-650 Km, de 100 à 200 ° plus chauds que le manteau ambiant → mini ou "baby plumes" . Attention tous ces panaches n'ont pas été mis en évidence

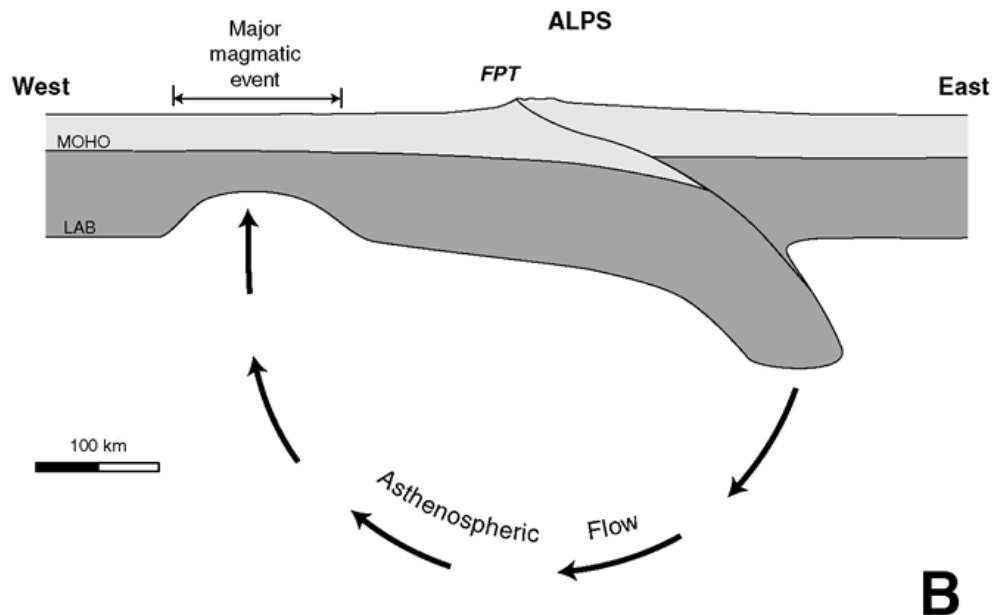


L'Europe de l'Ouest depuis le Miocène

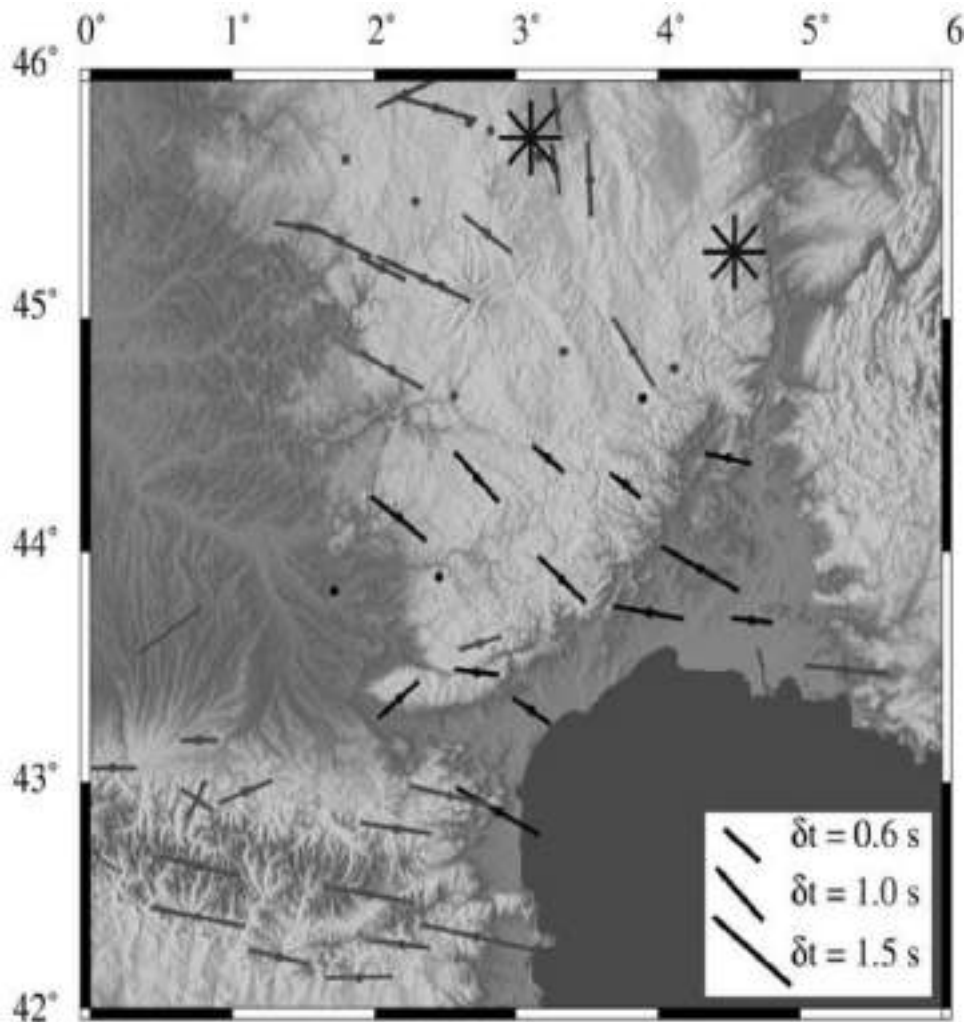




A) Rifting Eocène-Oligocène, contemporain de la formation de la racine lith. des Alpes -
 → Amincissement surtout dans le Nord du MC
 Magmatisme seulement du Miocène Inf à Sup.
 Dans le Sud : amincissement négligeable, pas de magmatisme



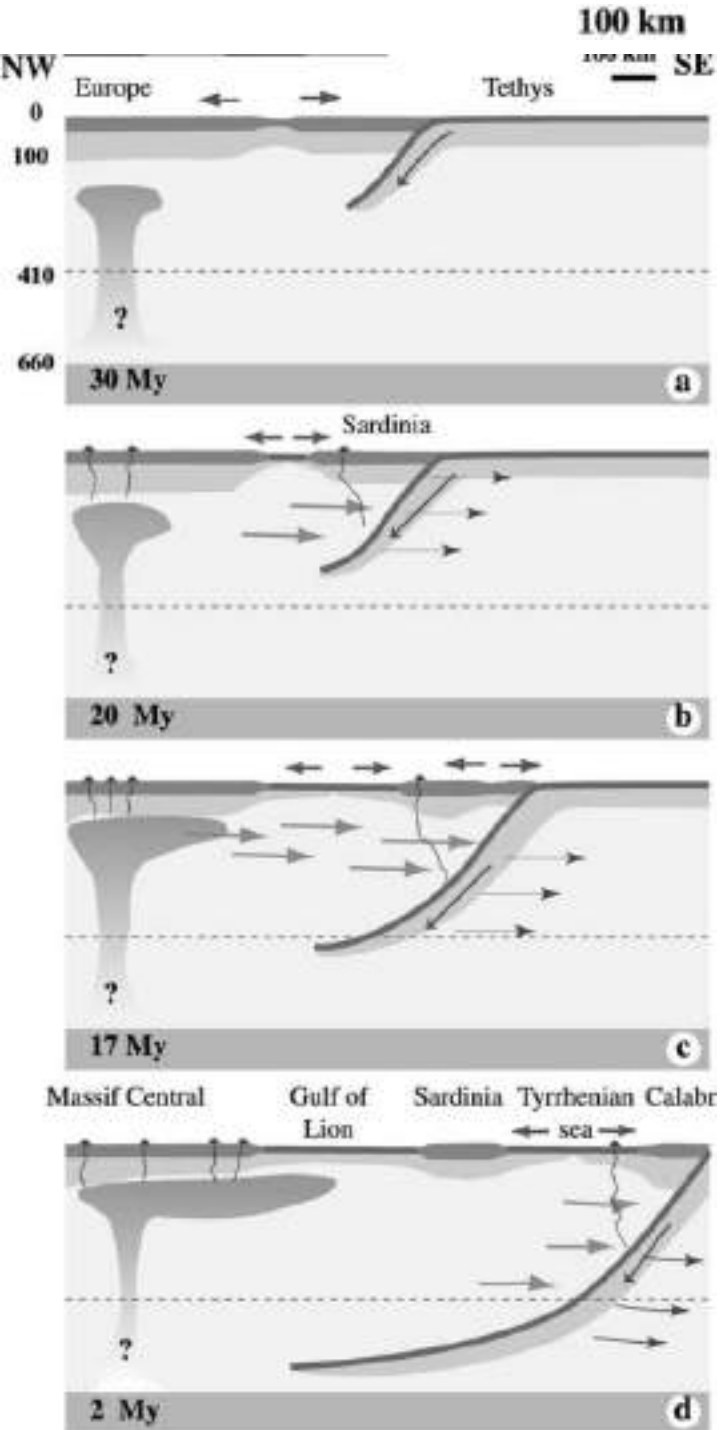
B) Miocène Sup.: Erosion thermo-mécanique de la base de la lithosphère
 → phase volcanique majeure (Cantal, Deves, Velay, Aubrac..) et soulèvement contemporains
 Erosion thermique gagne le Nord tardivement → reprise de l'activité volc (Mont Dore, Ch des Puys, Sioule) et surrection récente



Anisotropie sismique - Barruol & Granet (2002)

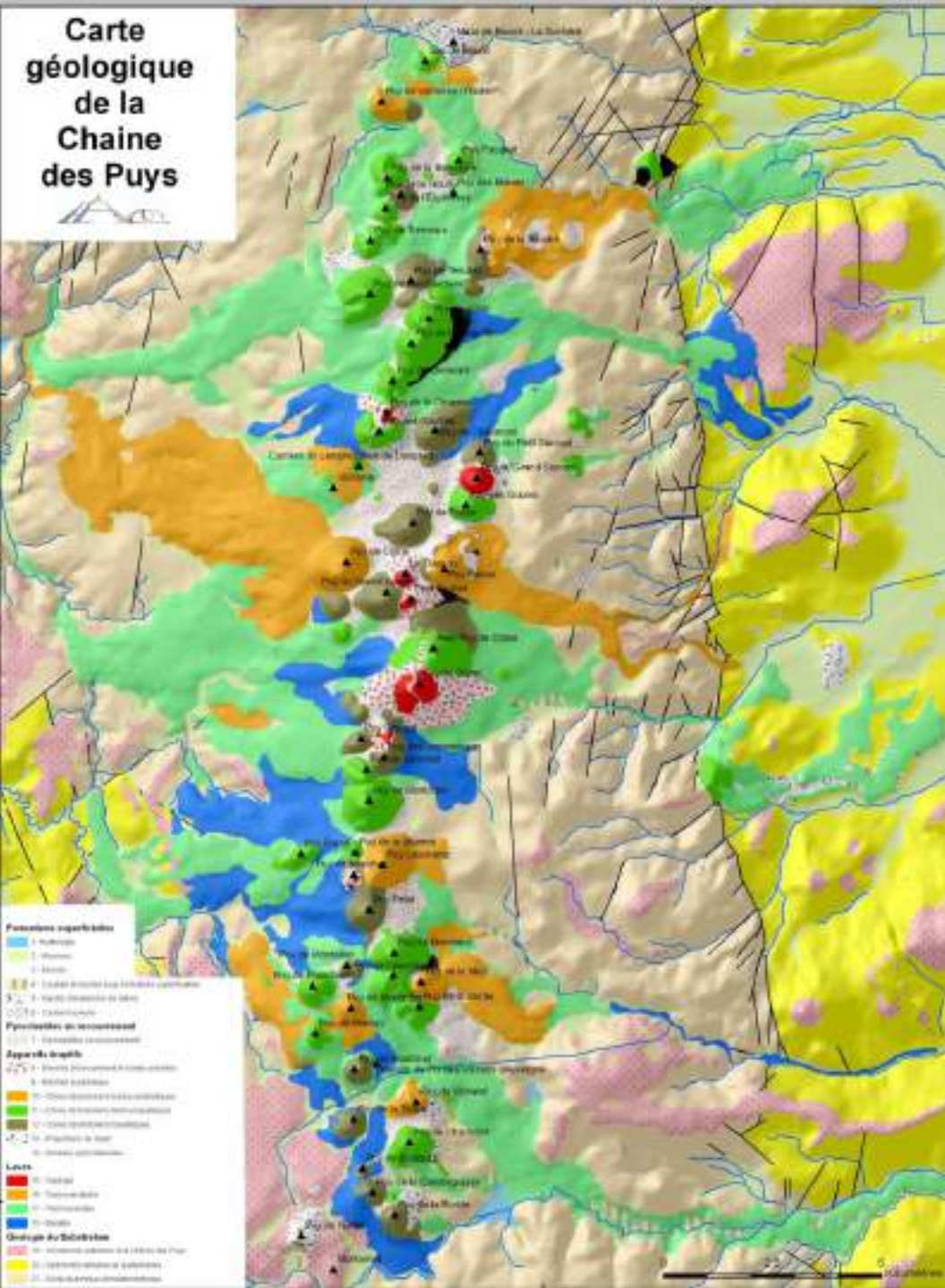
Map of the mean splitting parameters calculated from the good measurements at each station from the southern MC and the Pyrenees [barruol et al., 1998]. There is no result at some sites (RAB, ALB, LUC), since they are devoid of good SKS splitting measurements. Also plotted are the good quality splitting measurements in the northern MC [Babuska et al., 2002]. The stars indicate the absence of anisotropy observed at SSB [Barruol & Hoffmann, 1999] and CFF.

Calcul des paramètres anisotropes à partir de la biréfringence des ondes de cisaillement : flux mantellique NW-SE



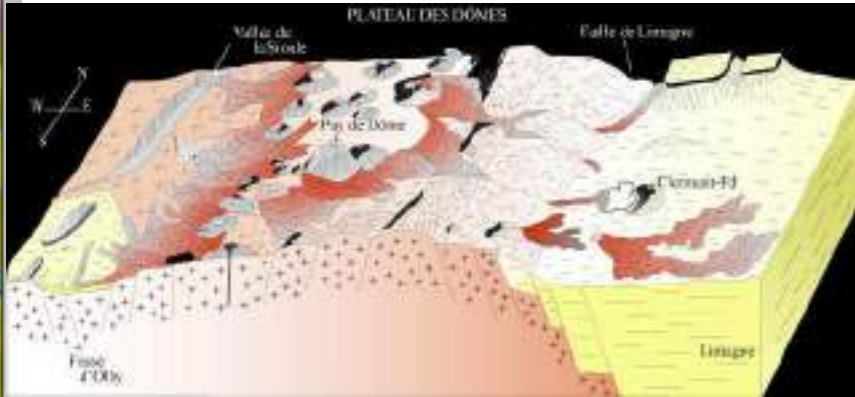
Roll back de la lithosphère ionienne :
 aurait induit un flux asthénosphérique
 sous le MC + déformation (vers le SE)
 d'un plume localisé sous le MC

Carte géologique de la Chaîne des Puys

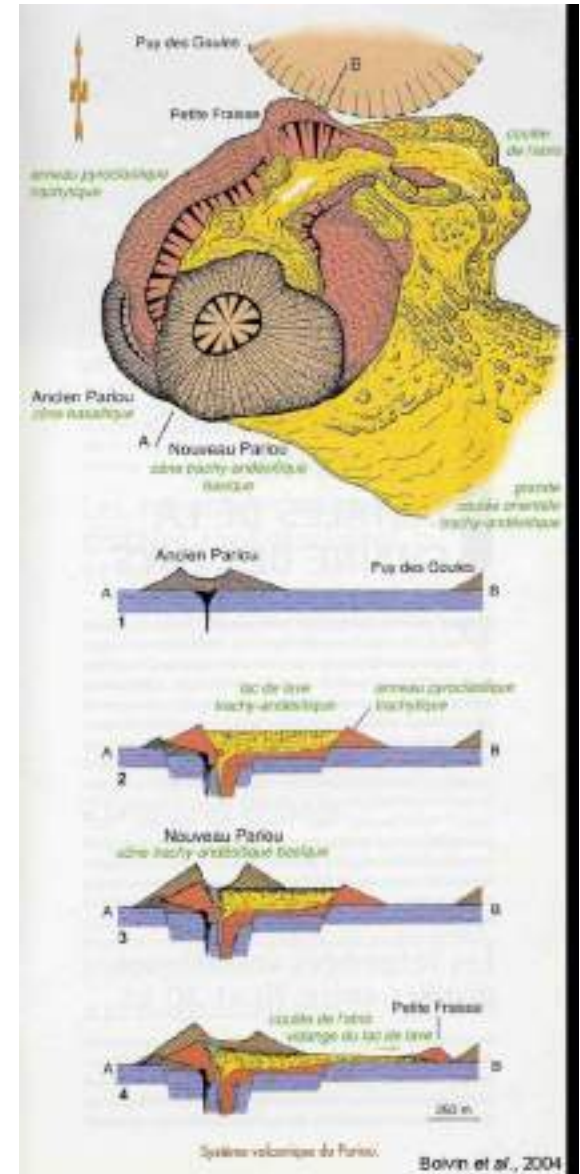
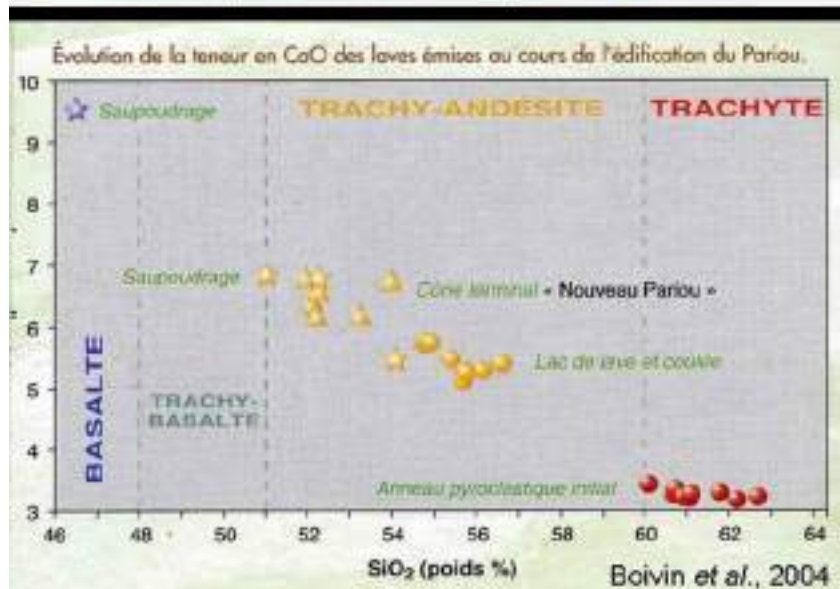
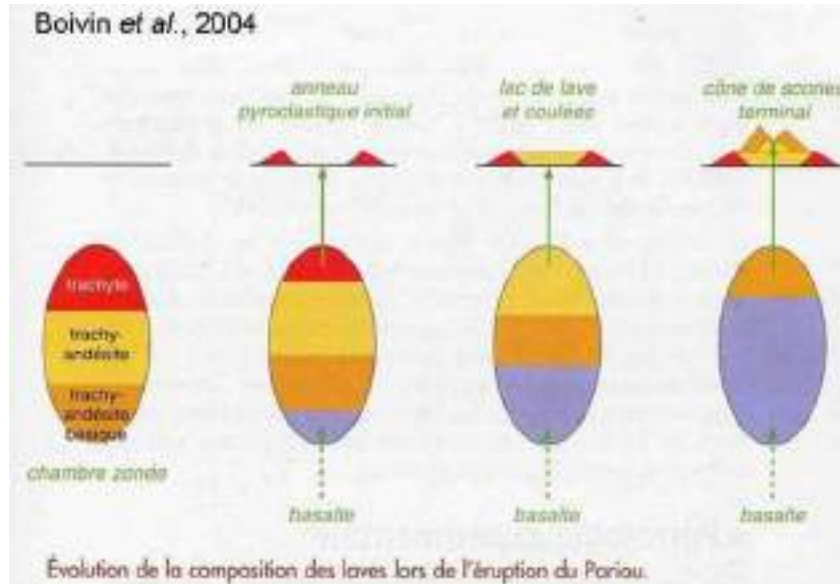


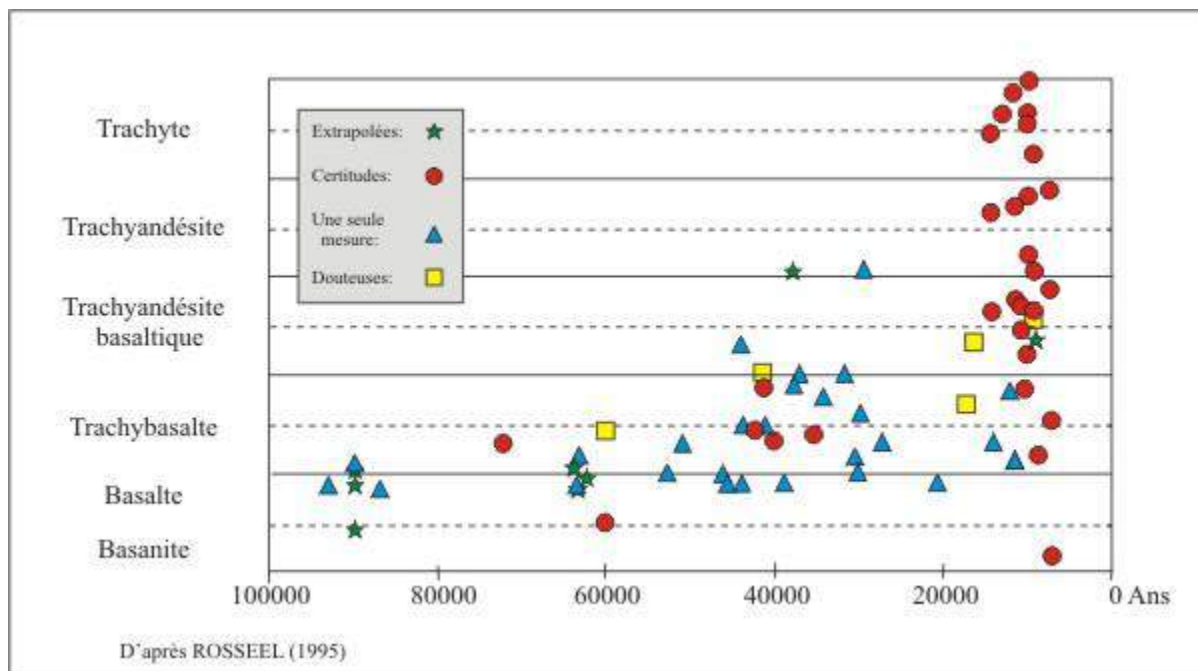
Chaîne des Puys

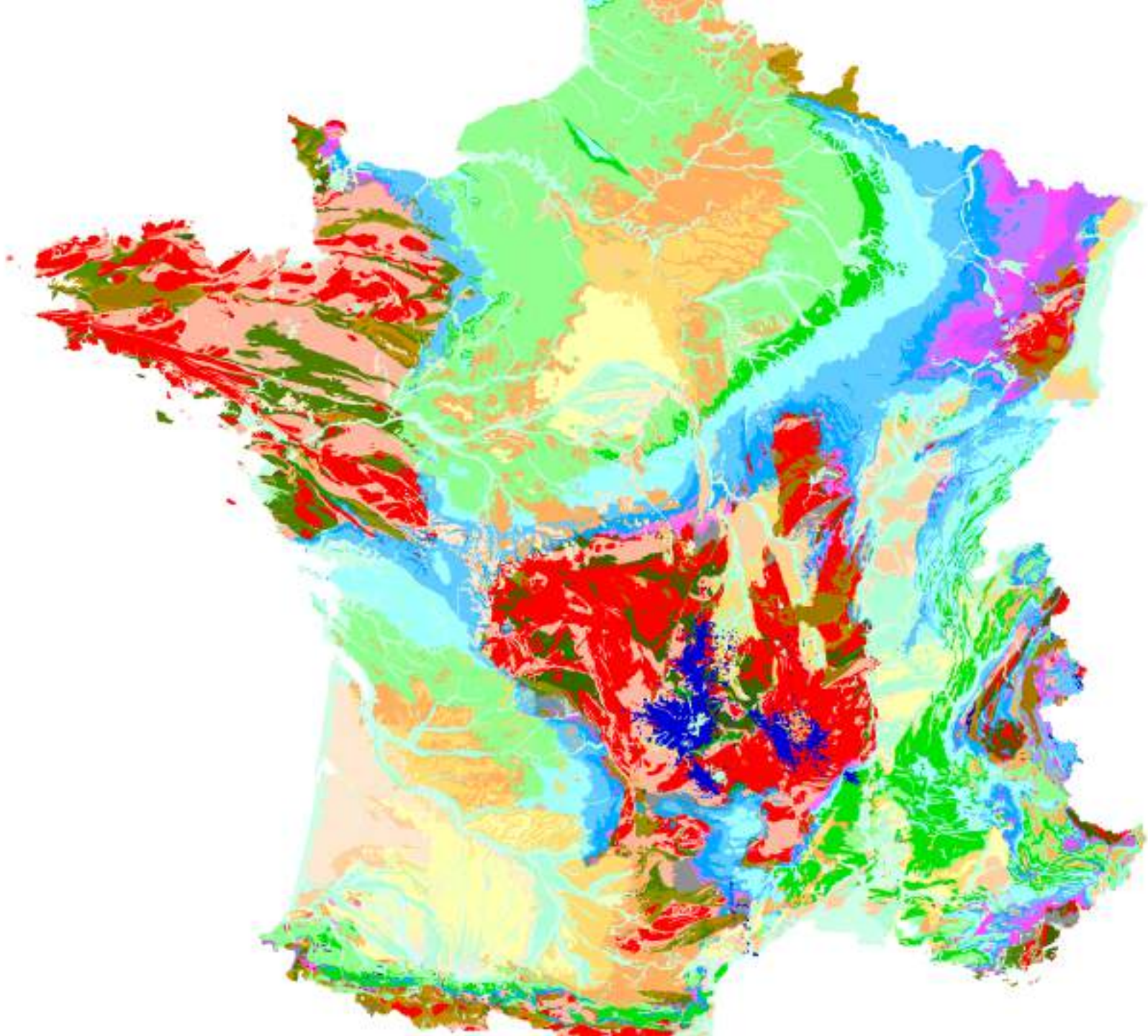
- Série magmatique alcaline à tendance potassique dont les termes différenciés présentent une teneur en silice élevée
- Evolution expliquée par un processus de cristallisation fractionnée :
 - basalte primitif (source à 80 km de profondeur)
 - Cristallisation et fractionnement d'OI, Spi, Cpx en base de croûte; 30 km → Trachybasalte
 - Cristallisation et fractionnement Pl, Amph, CPX, Mag → Trachyandésites
 - Cristallisation et fractionnement Pl, San, Bi, CPX, Mag + contamination crustale ; 10 km → Trachytes
- Très légère contamination crustale (qq%)

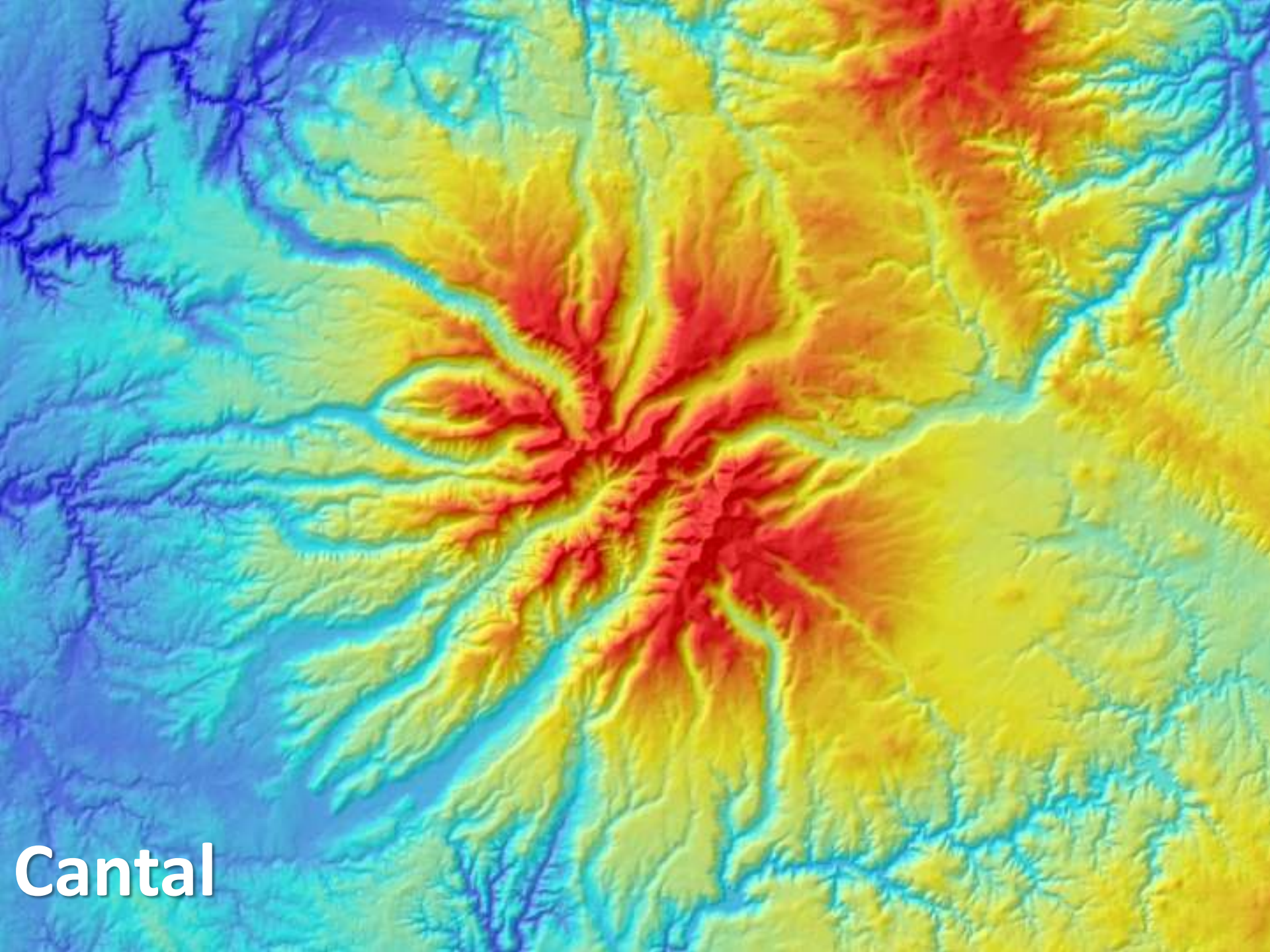


Evolution magmatique synéruptive : le Pariou

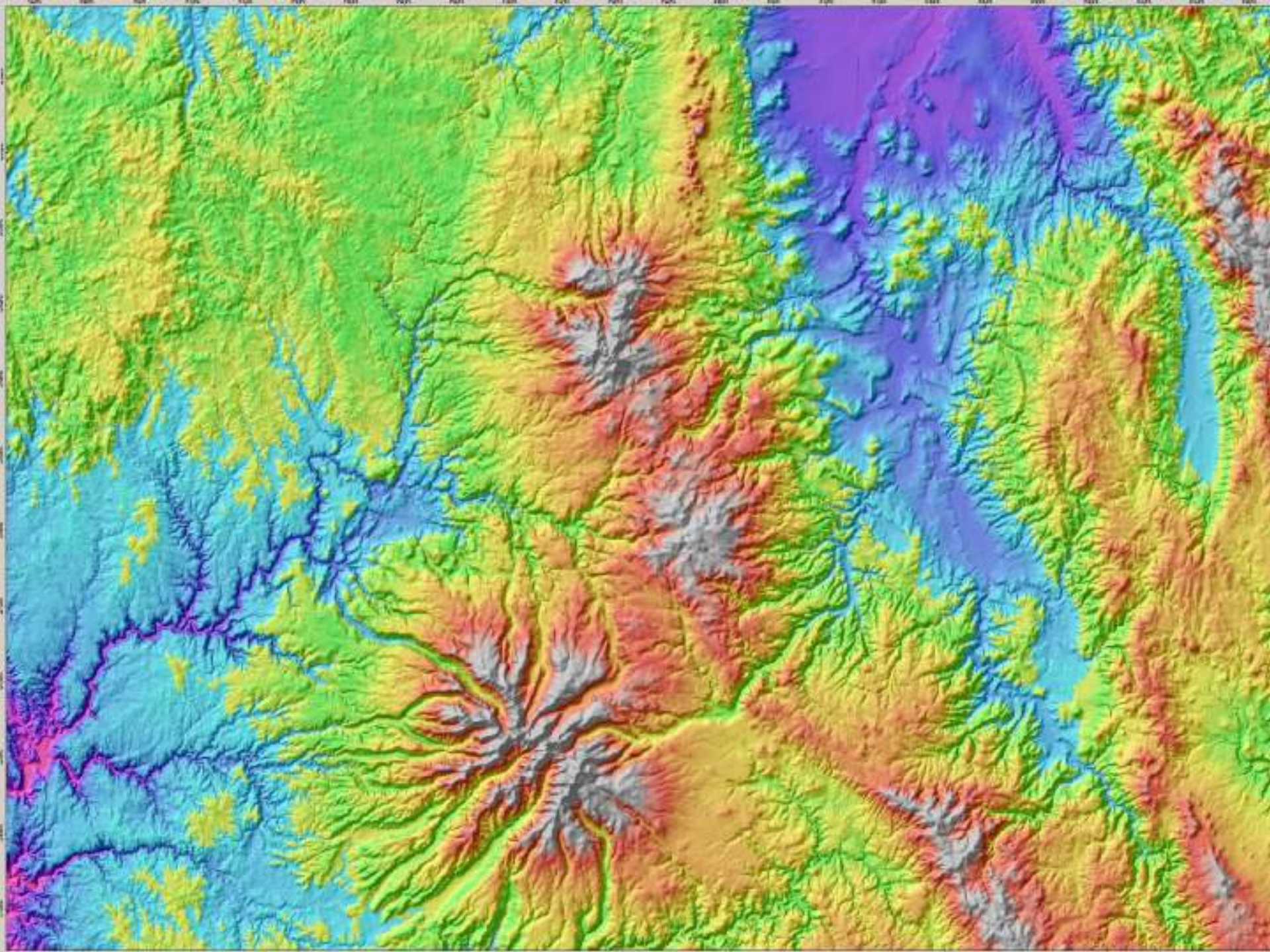


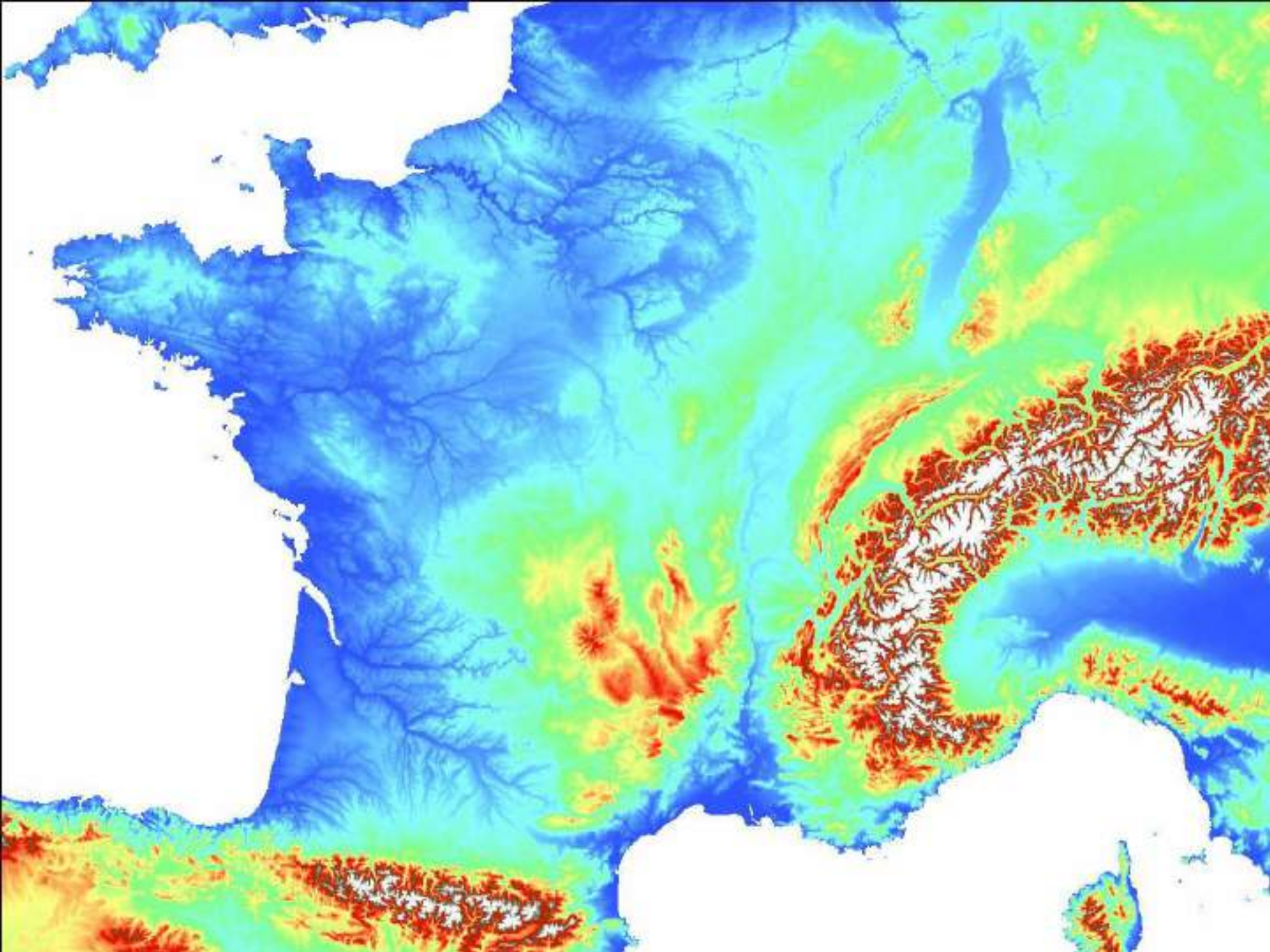






Cantal



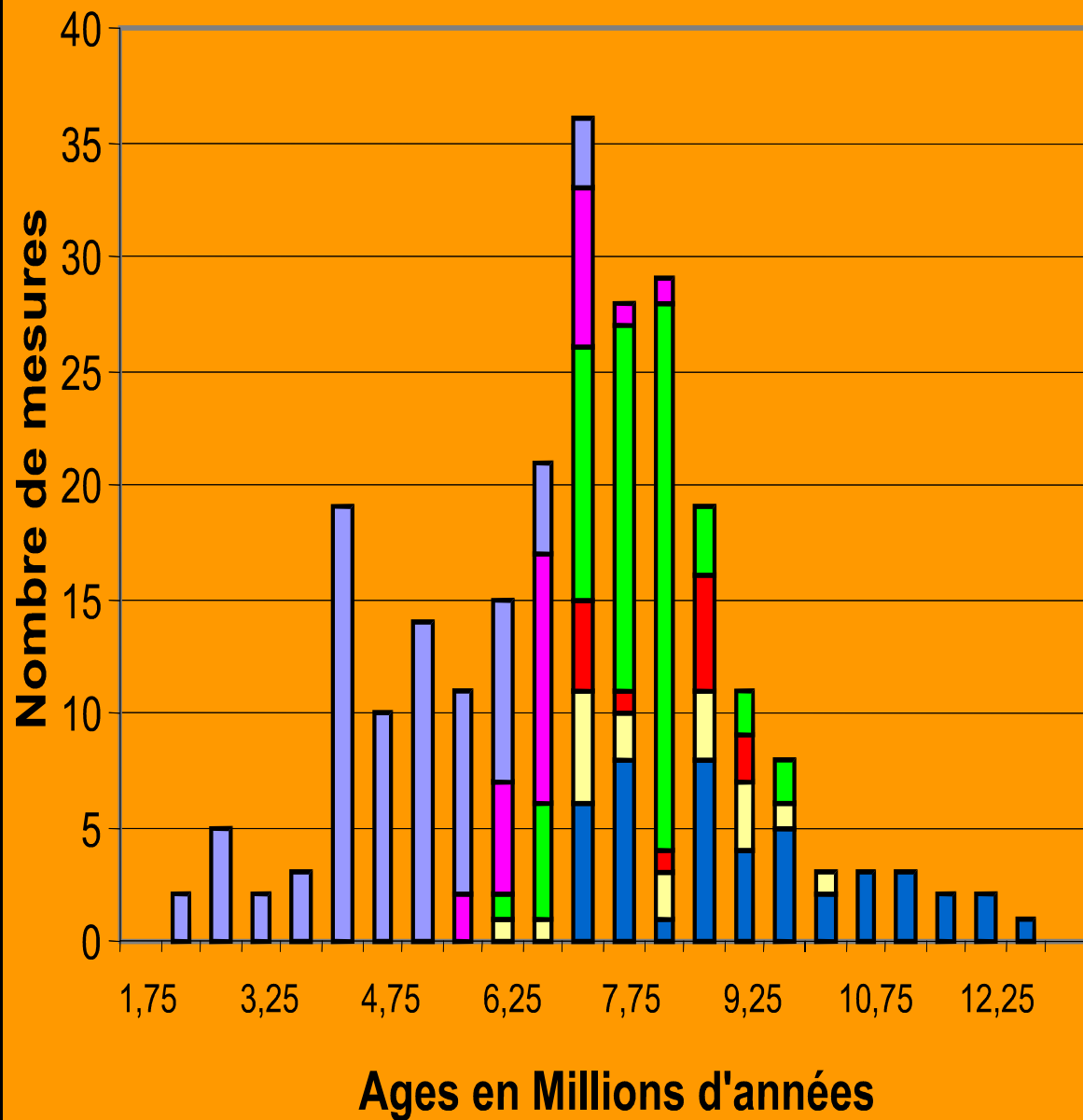




Chaîne des Puys



Stratovolcan Cantal



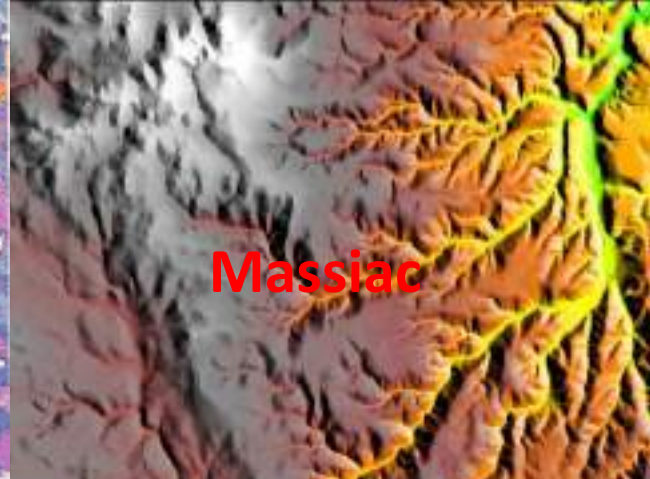
- Basaltes s.l. supracantaliens
- Téphrites-Phonolites
- Trachyandésites s.l. et Gabbros s.l.
- Trachytes et Rhyolites
- Blocs dans les Avalanches de débris
- Basaltes s.l. infracantaliens



Mauriac



Riom-ès-Montagnes



Massiac



Pleaux



Murat



St-Flour



Aurillac



Vic-sur-Cère



Chaudes-Aigues

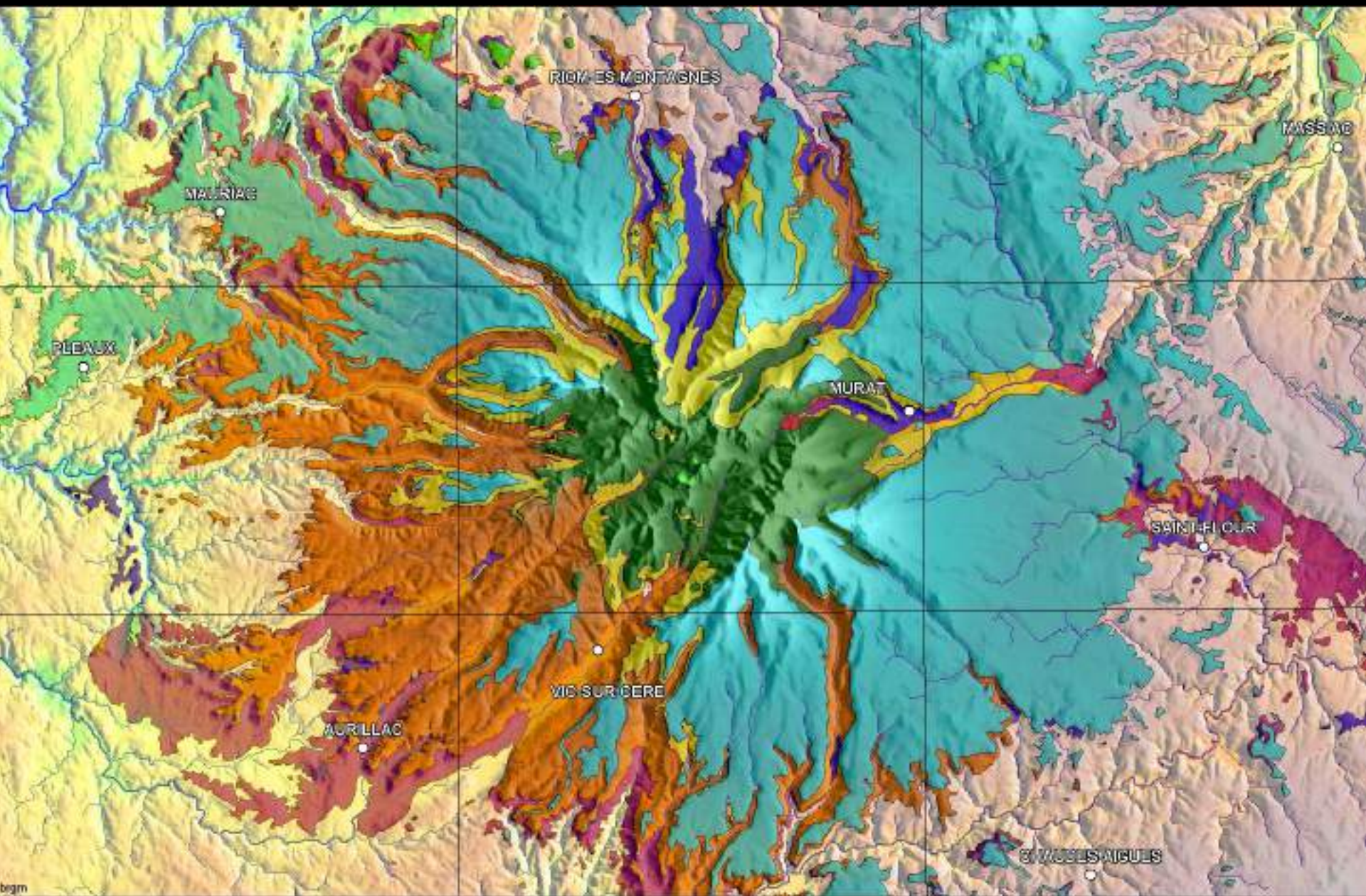
Historique cartographie

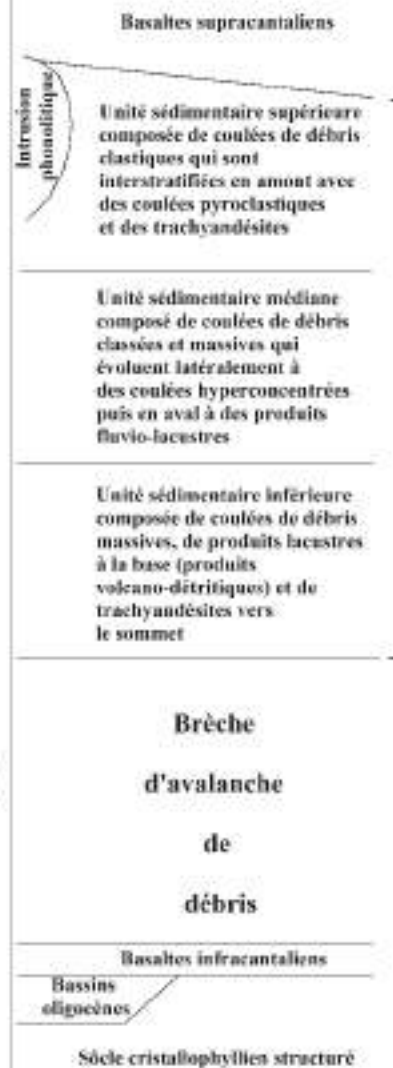
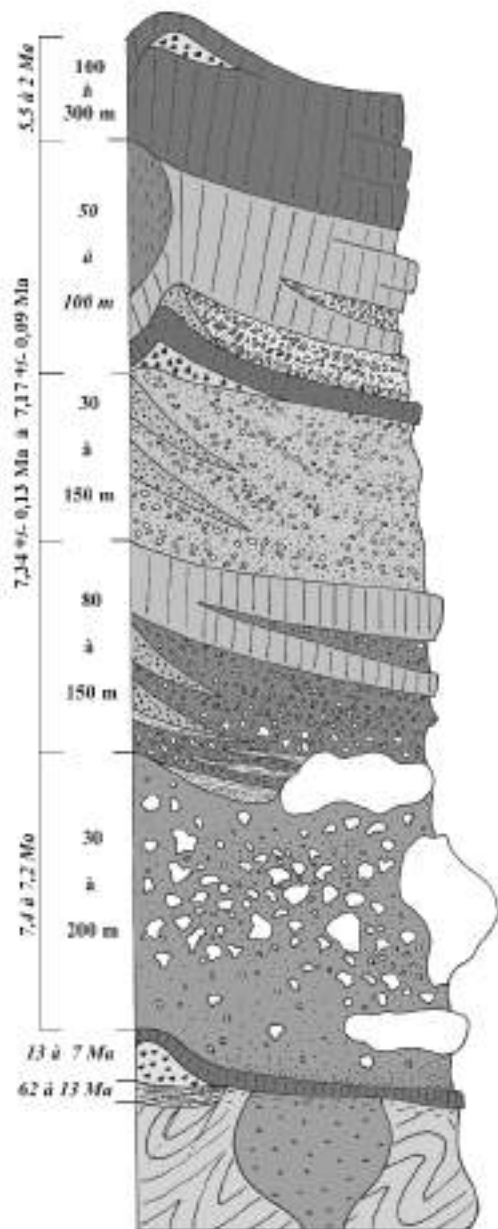
- Rames (1873), Fouqué (1881) Boule (1896), Cartes 1/80000
- Brousse et al., Vatin Pérignon et al., de Goër et al. Cartes 1/50000
 - -----> *Eruption du Mont St Helens 1980*
- Ce Projet - BRGM + IGAL, IPG, Universités de Brest, de Clermont-Ferrand, Lausanne, Leicester, Lille, Orléans, Paris...4 thèses + 5 Mémoires IGAL...+ carte 1/50000 Murat + synthèse au 1/100000



Avalanches de débris







Complexe Conglomératique Supérieur

ZONE CENTRALE

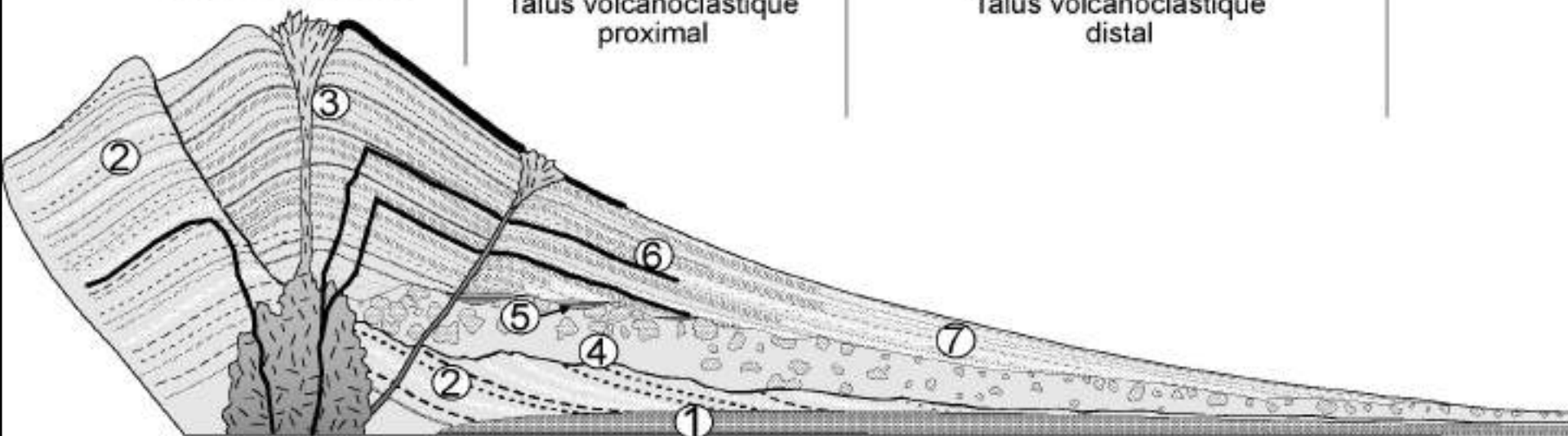
3 km

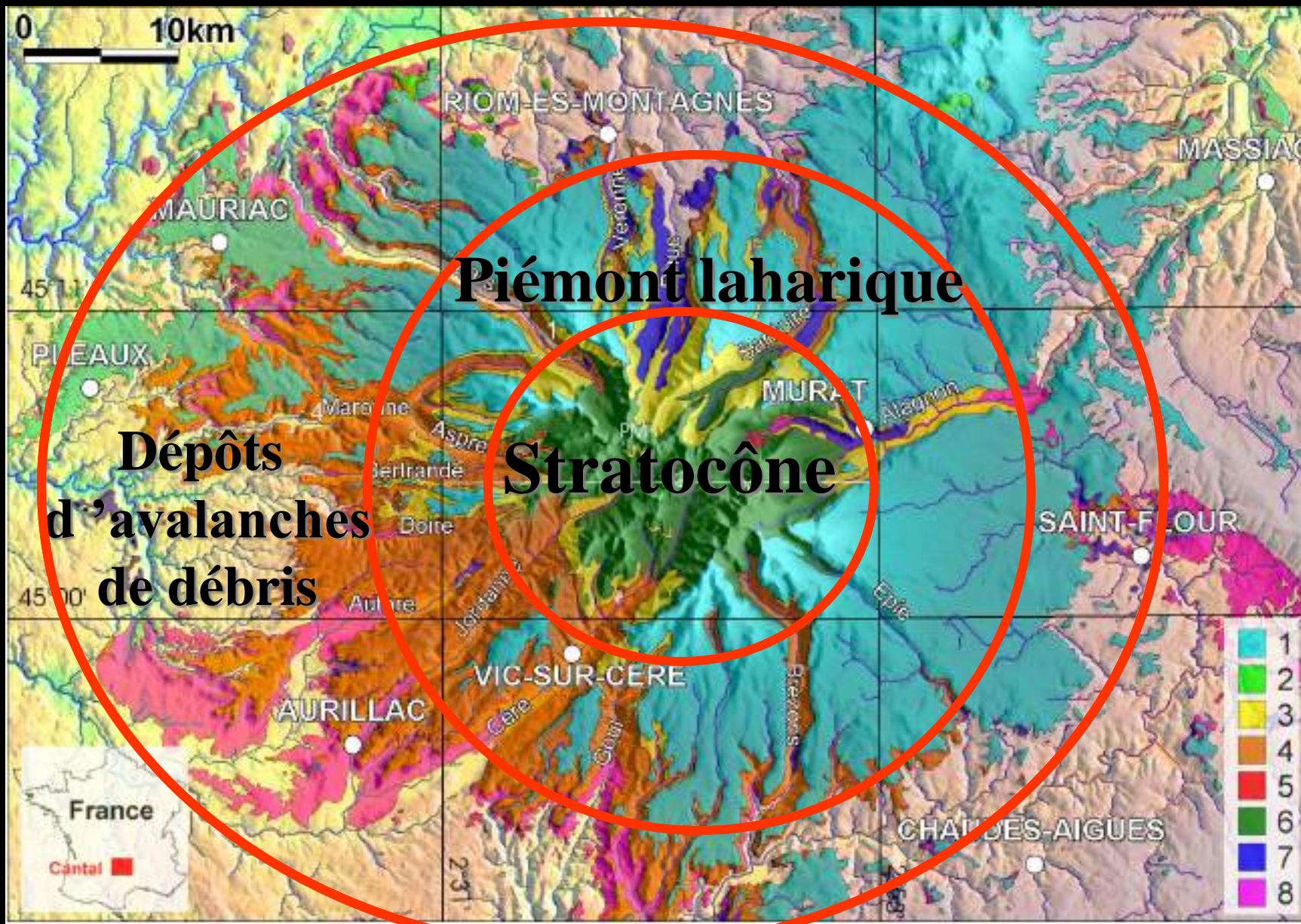
AUREOLE INTERNE
Talus volcanoclastique proximal

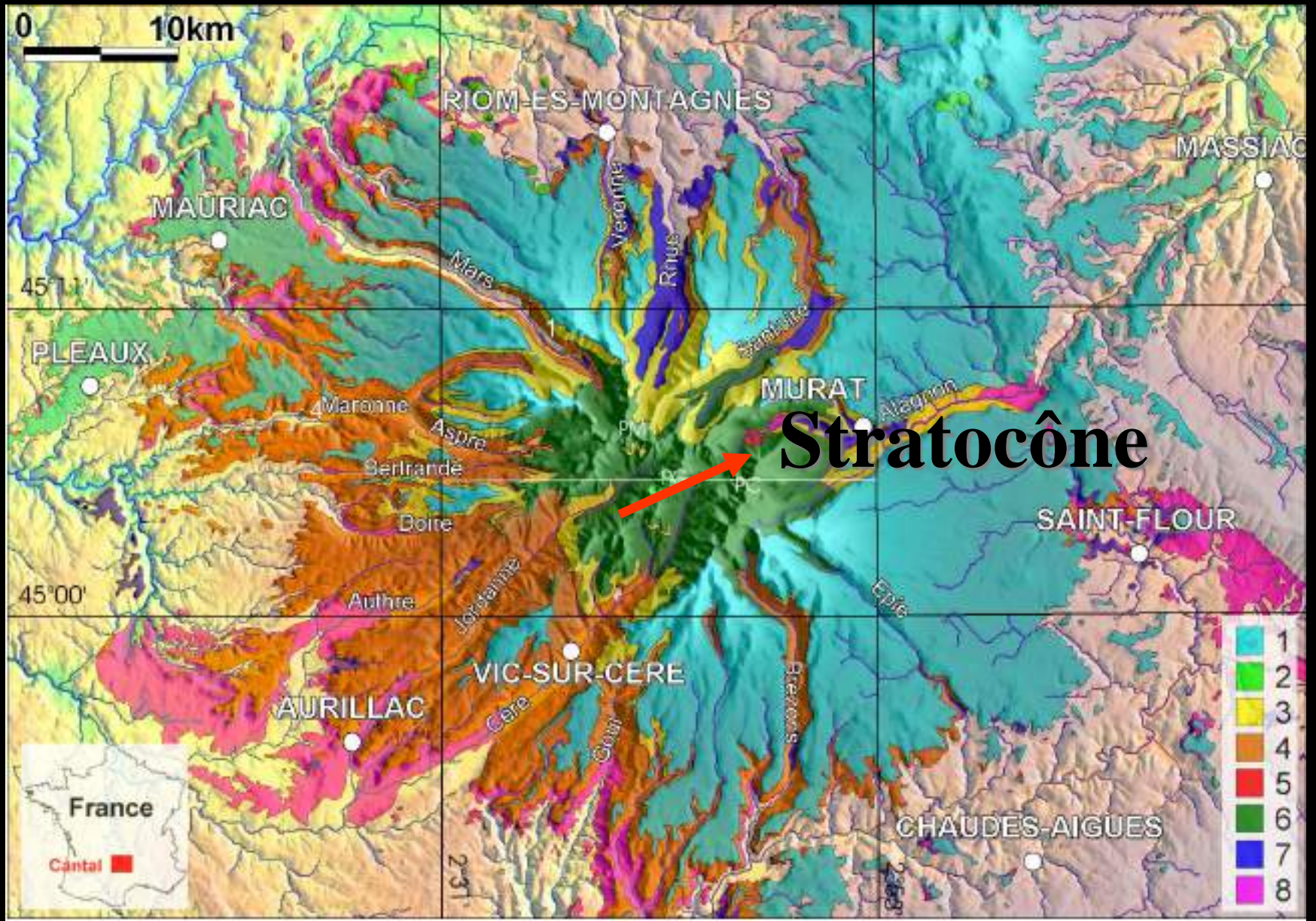
10 km

AUREOLE EXTERNE
Talus volcanoclastique distal

20 km



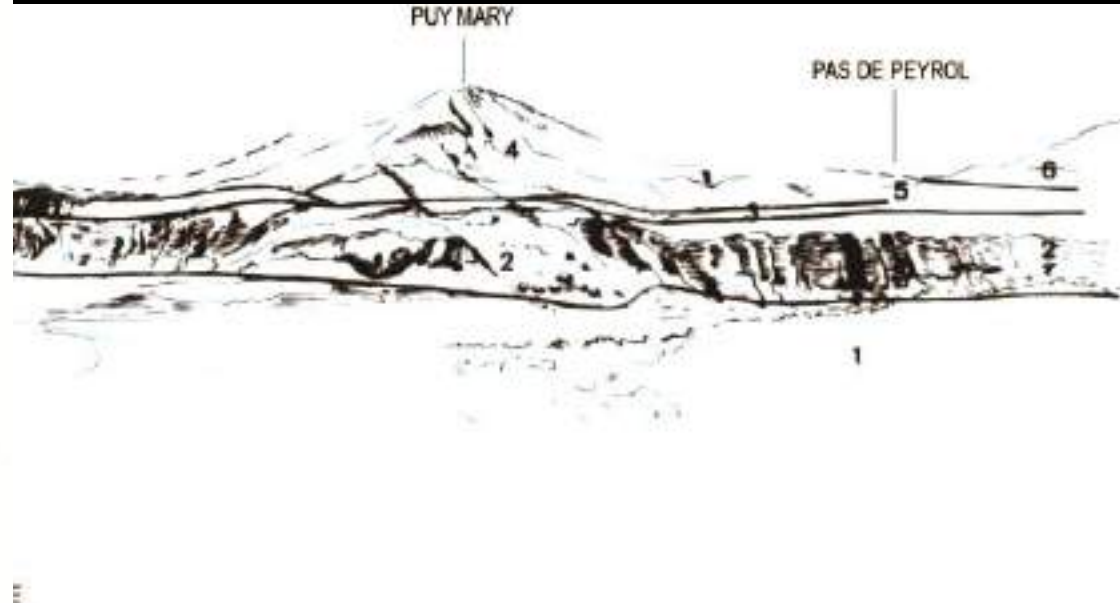
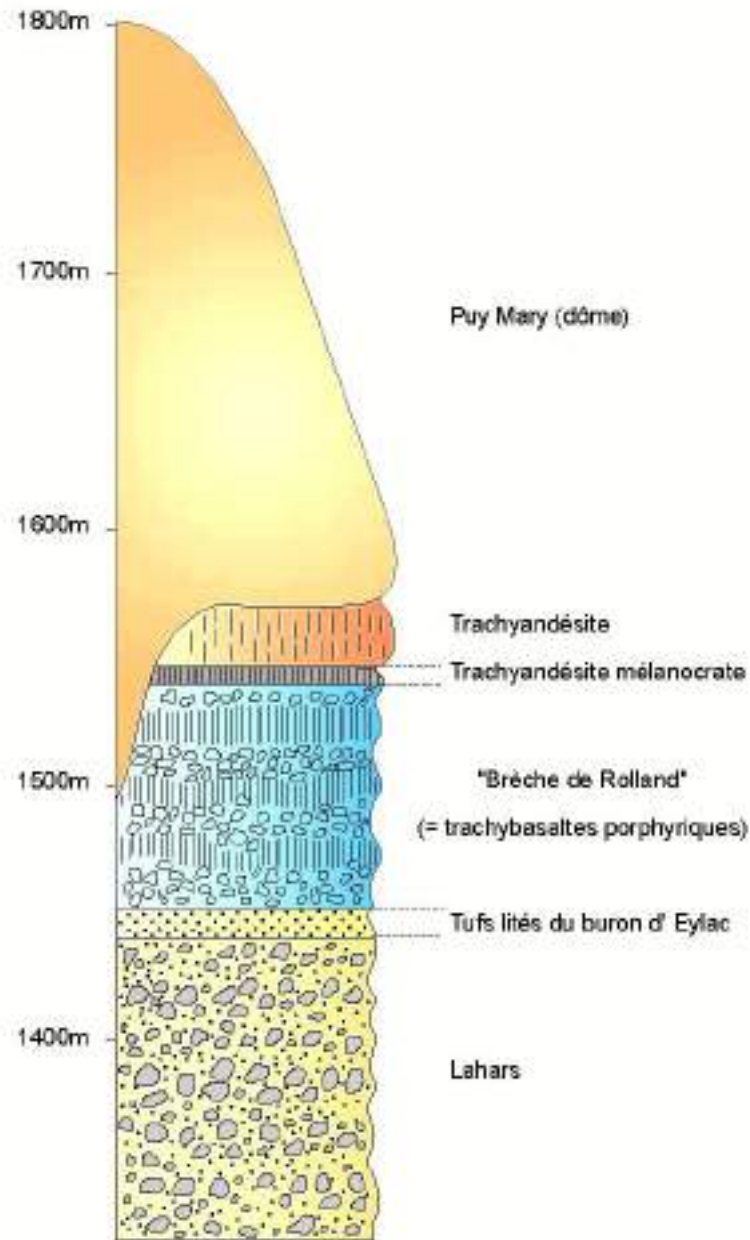








PuyMary



STRATIGRAPHIE DU COMPLEXE BRECHIQUE
AL'APLOMB DU PUY MARY (COTE IMPRADINE)



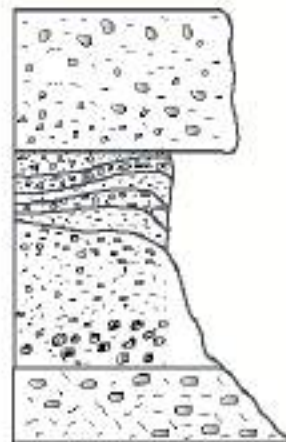
Puy Mary



Salers



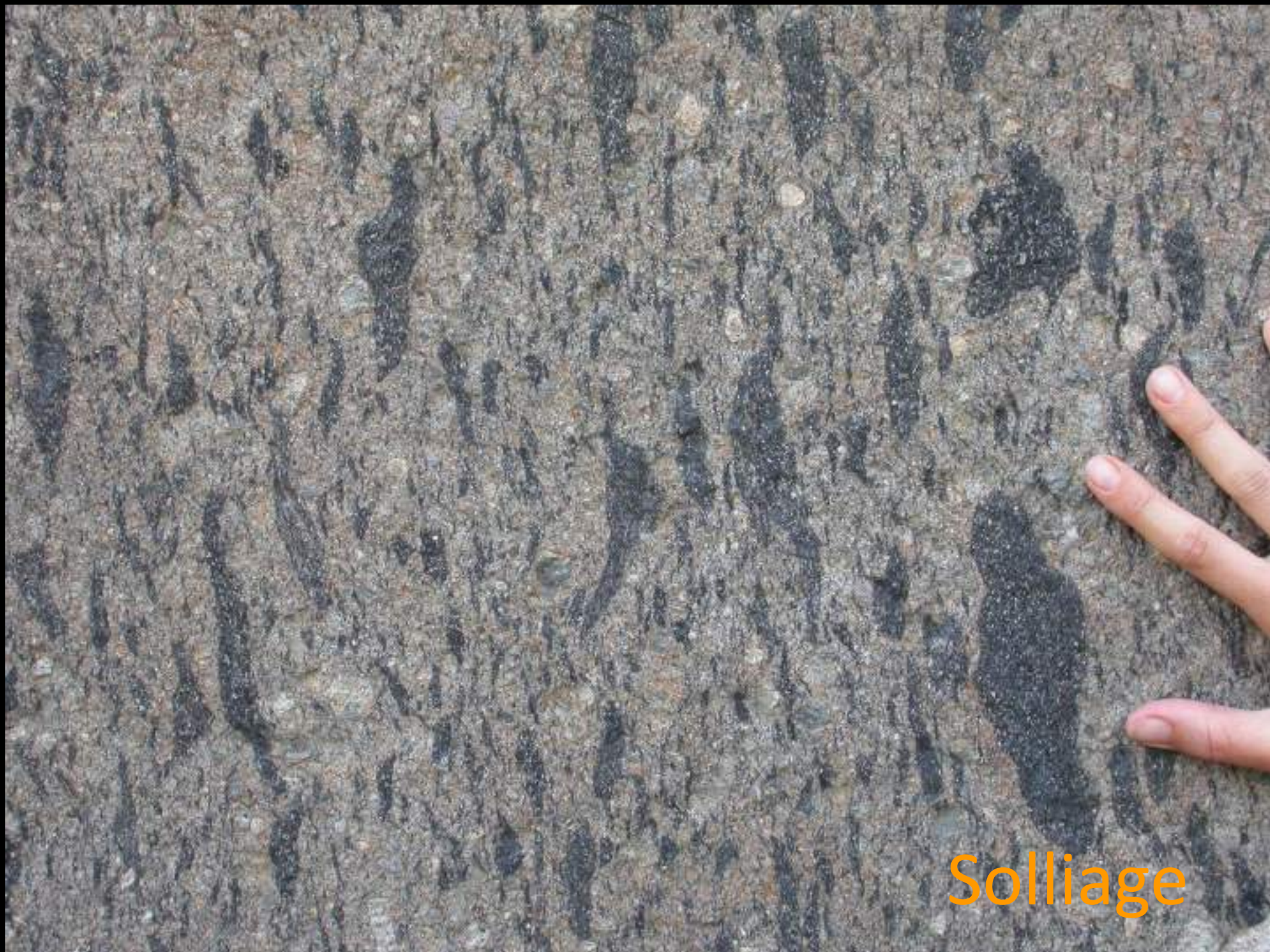
Nappe de Ponces II



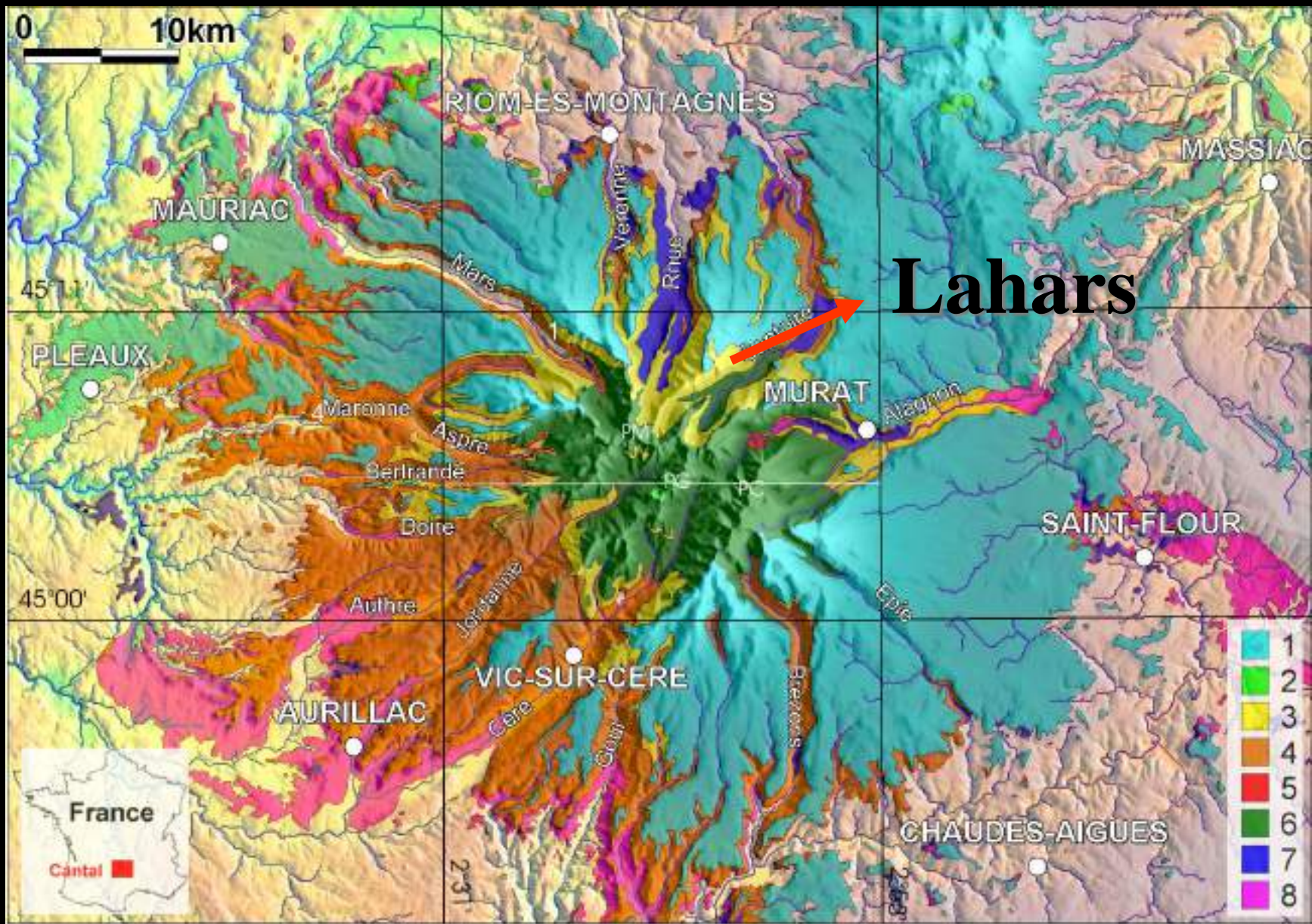
Nappe de Ponces I

- Conglomerat
- Grès
- Tuf
- Éléments lithiques
- Ponces
- Lapilli accréionnés
- Lamination plane
- Axes végétaux

Peyre del Cros



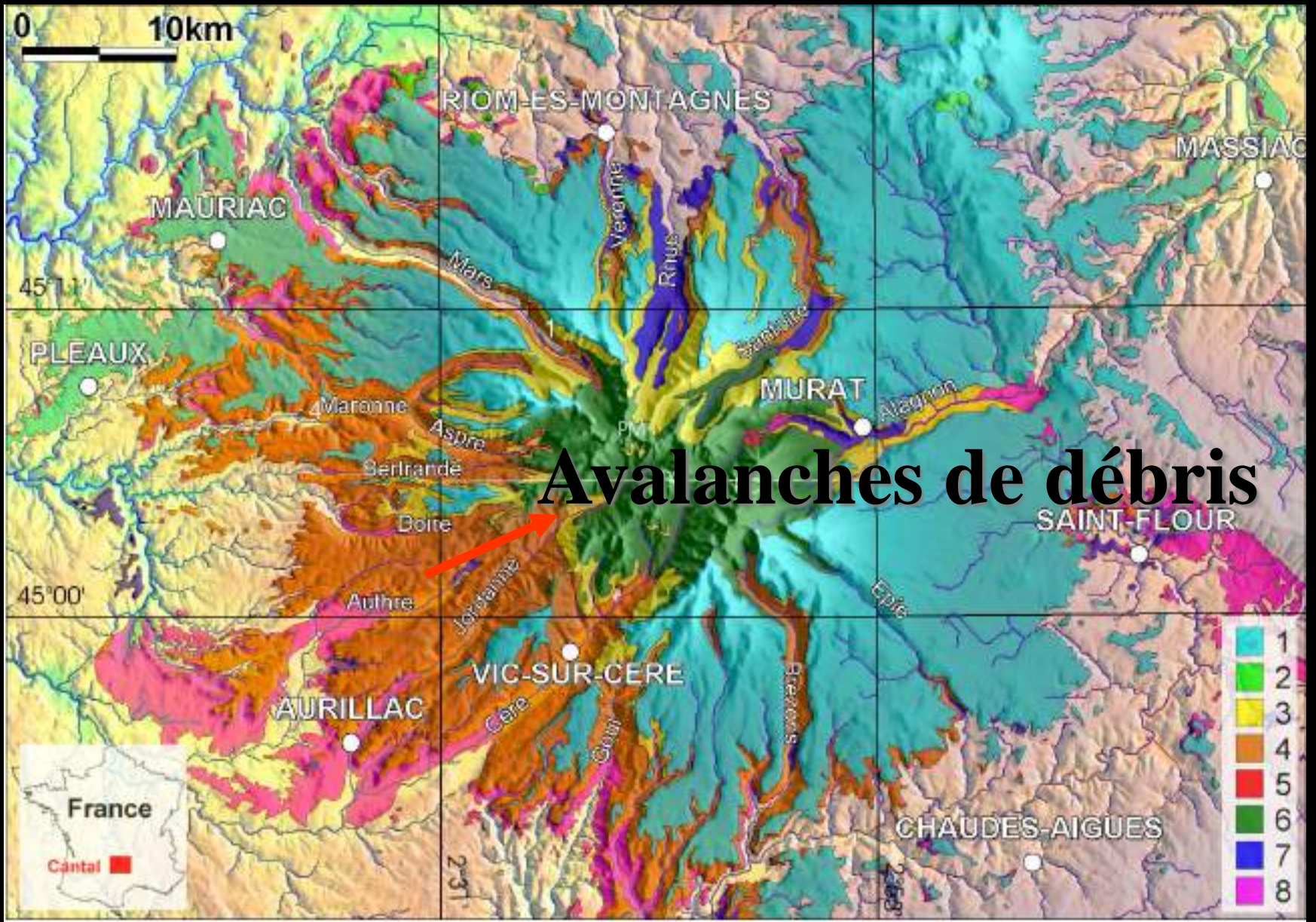
Solliage













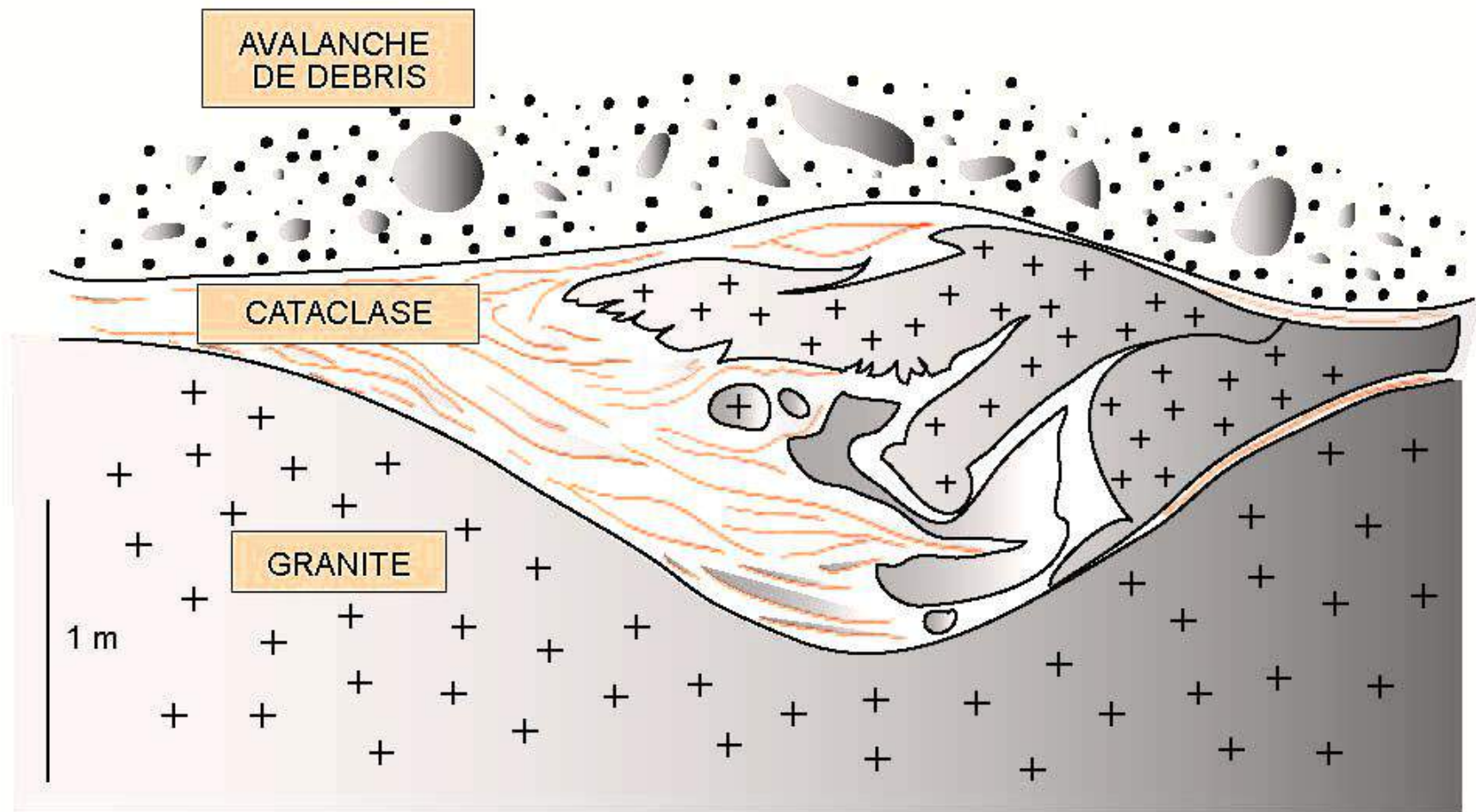






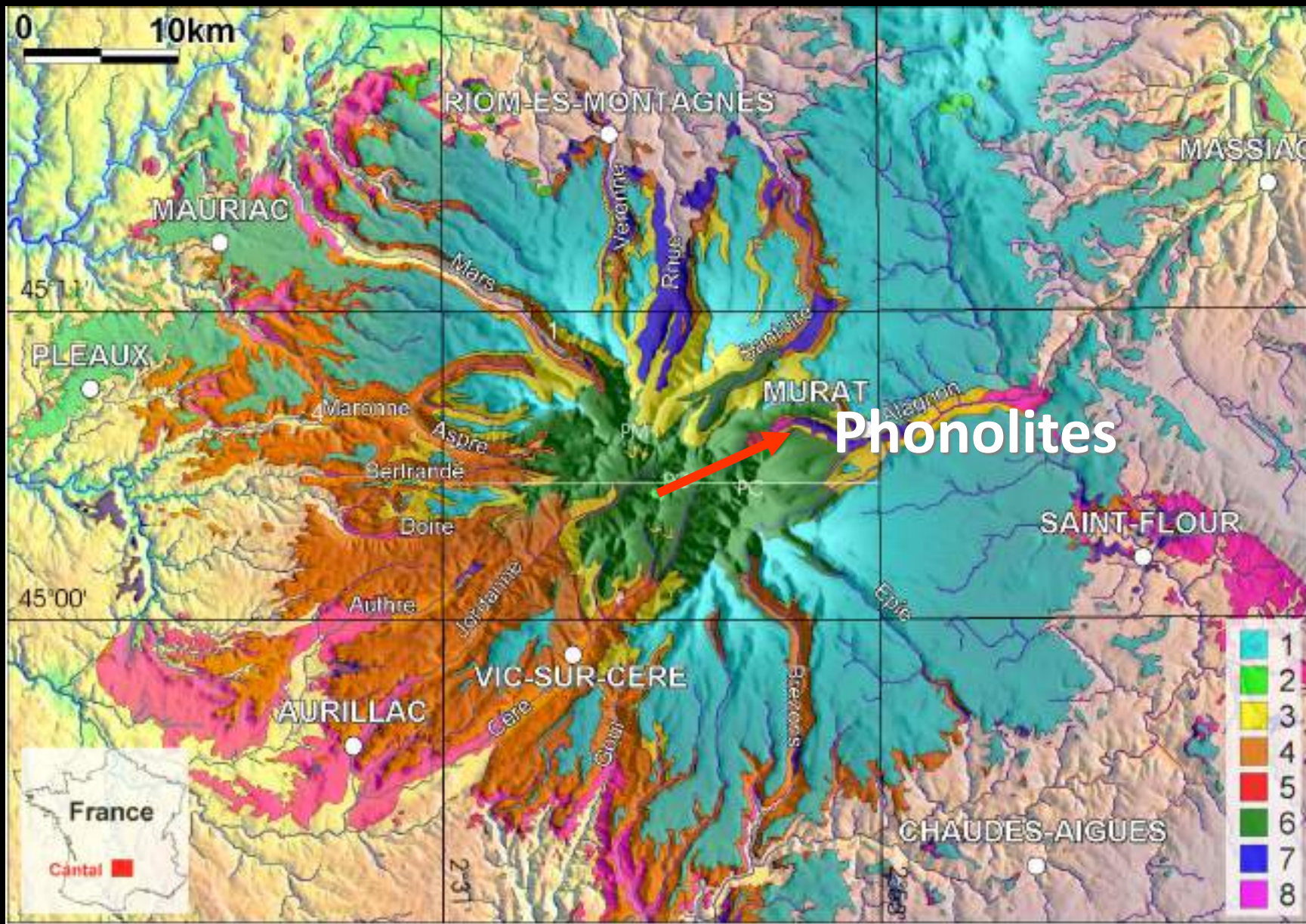










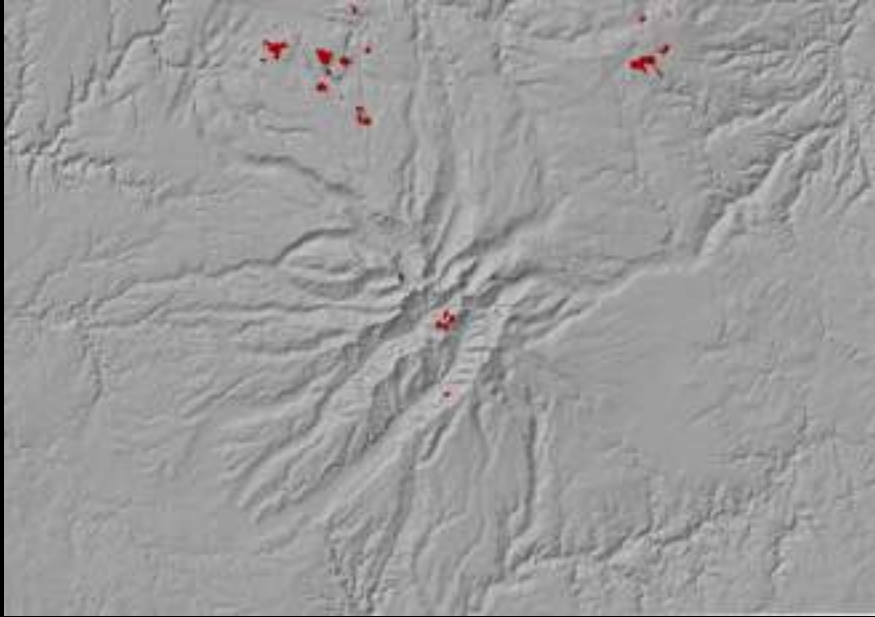




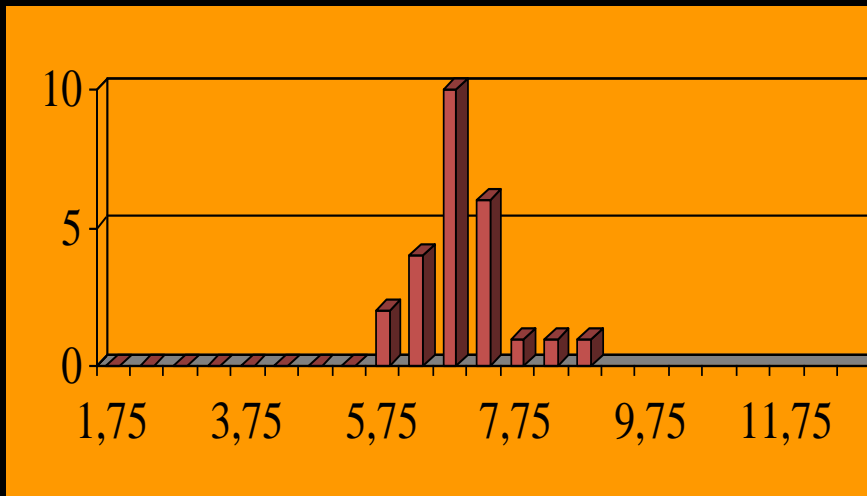
Puy Griou

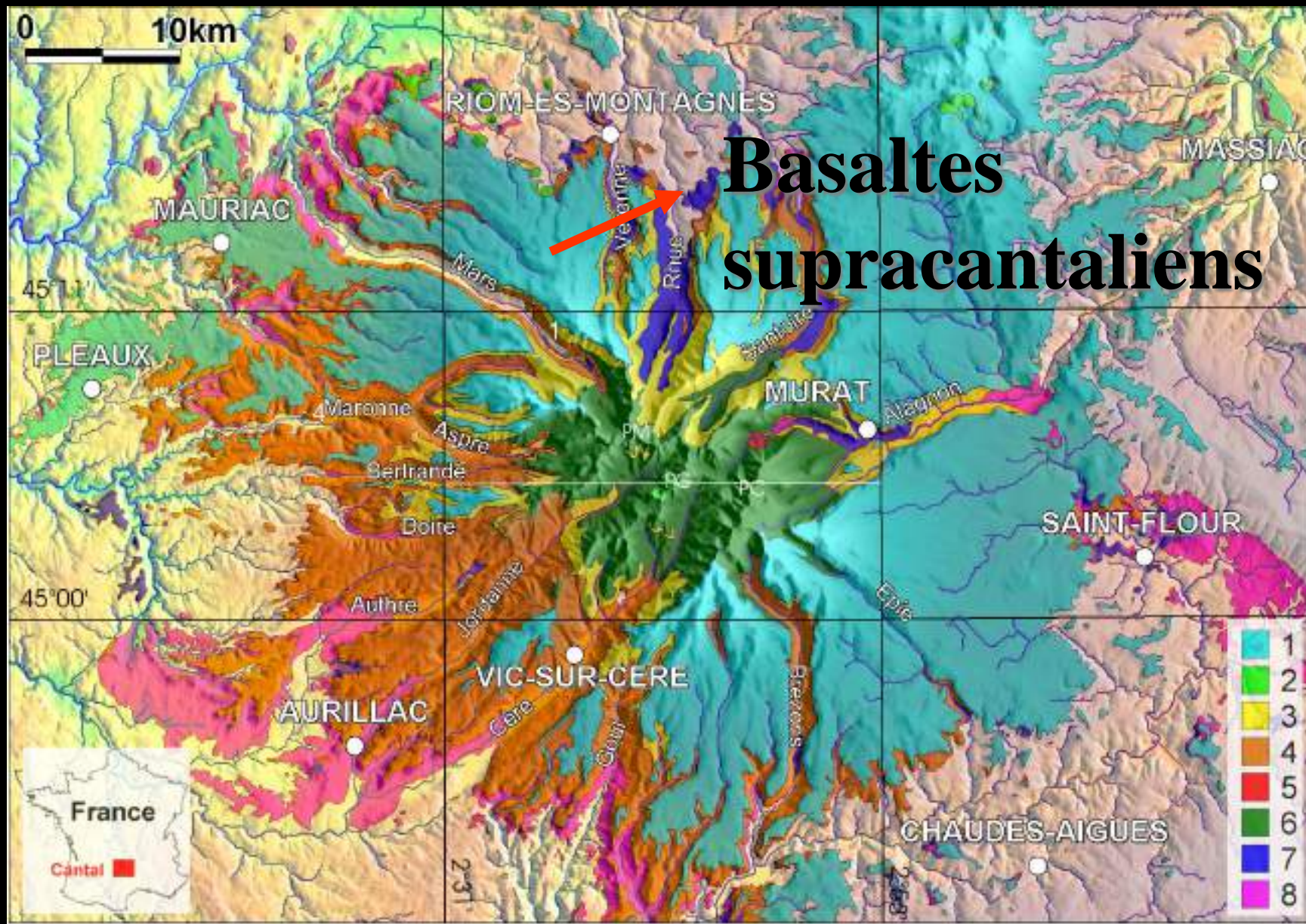


Phonolites



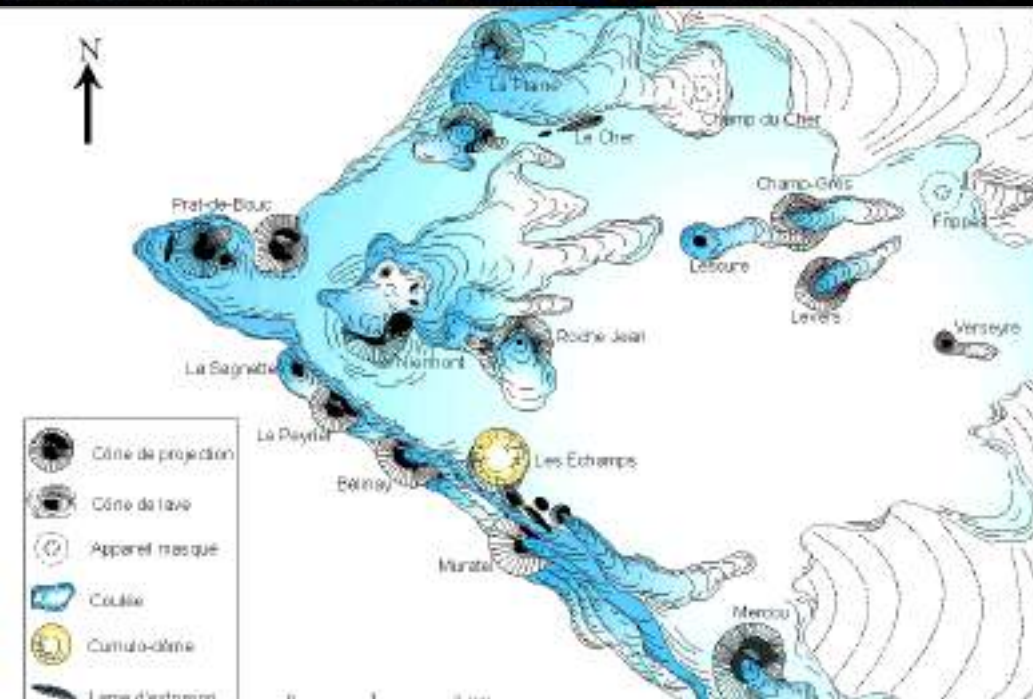
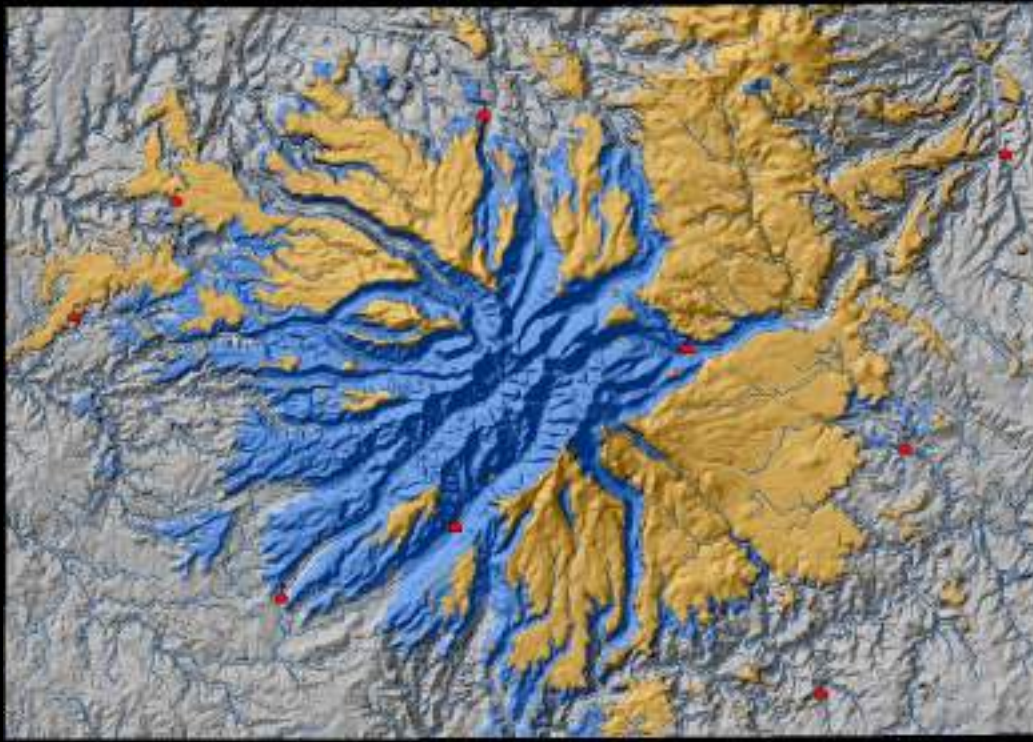
- 9 à 5,5 Ma
- pour l'essentiel entre 7,0 et 6,5 Ma, après les avalanches de débris
- relations avec les avalanches de débris ?
- sont discordantes sur le stratovolcan (NW -SE)





Basaltes supracantaliens

- 7,5 à 2 Ma
- culminent au Plomb du Cantal à 1855 m
- volcanisme dispersé (coulées, cônes de scories)
- basanitique et basaltique
- très érodés dans le SW

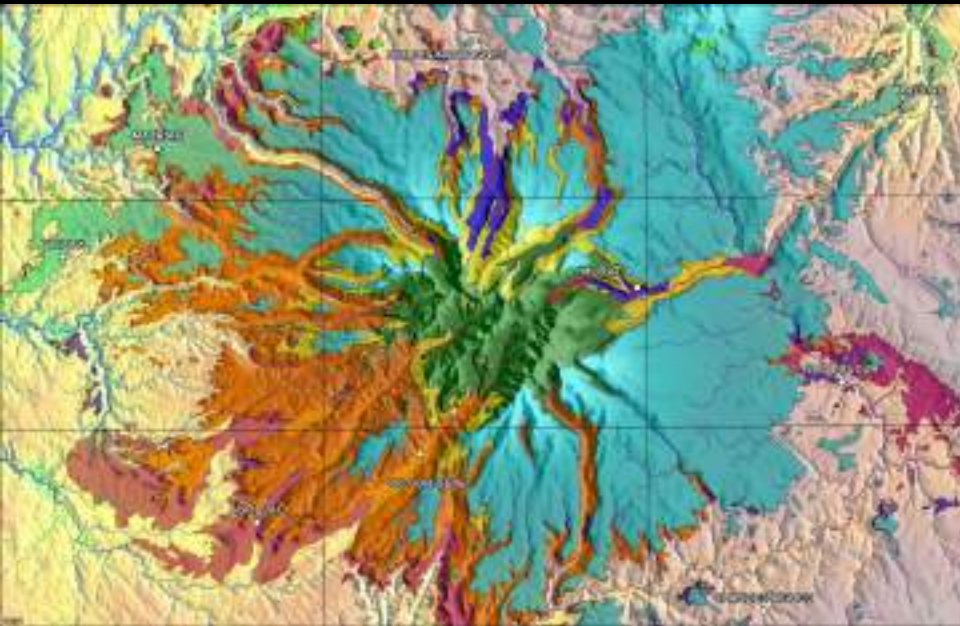













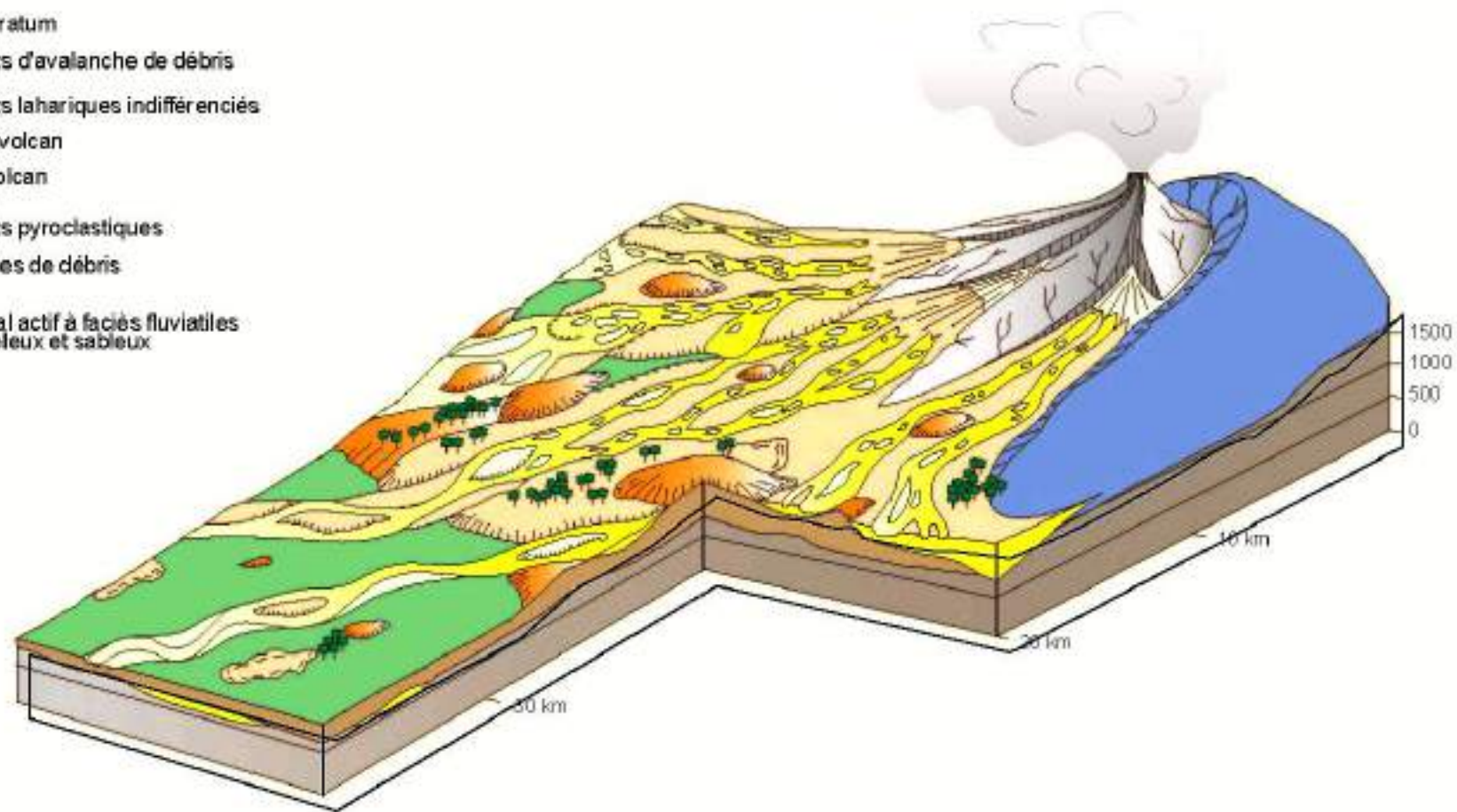
Belinay



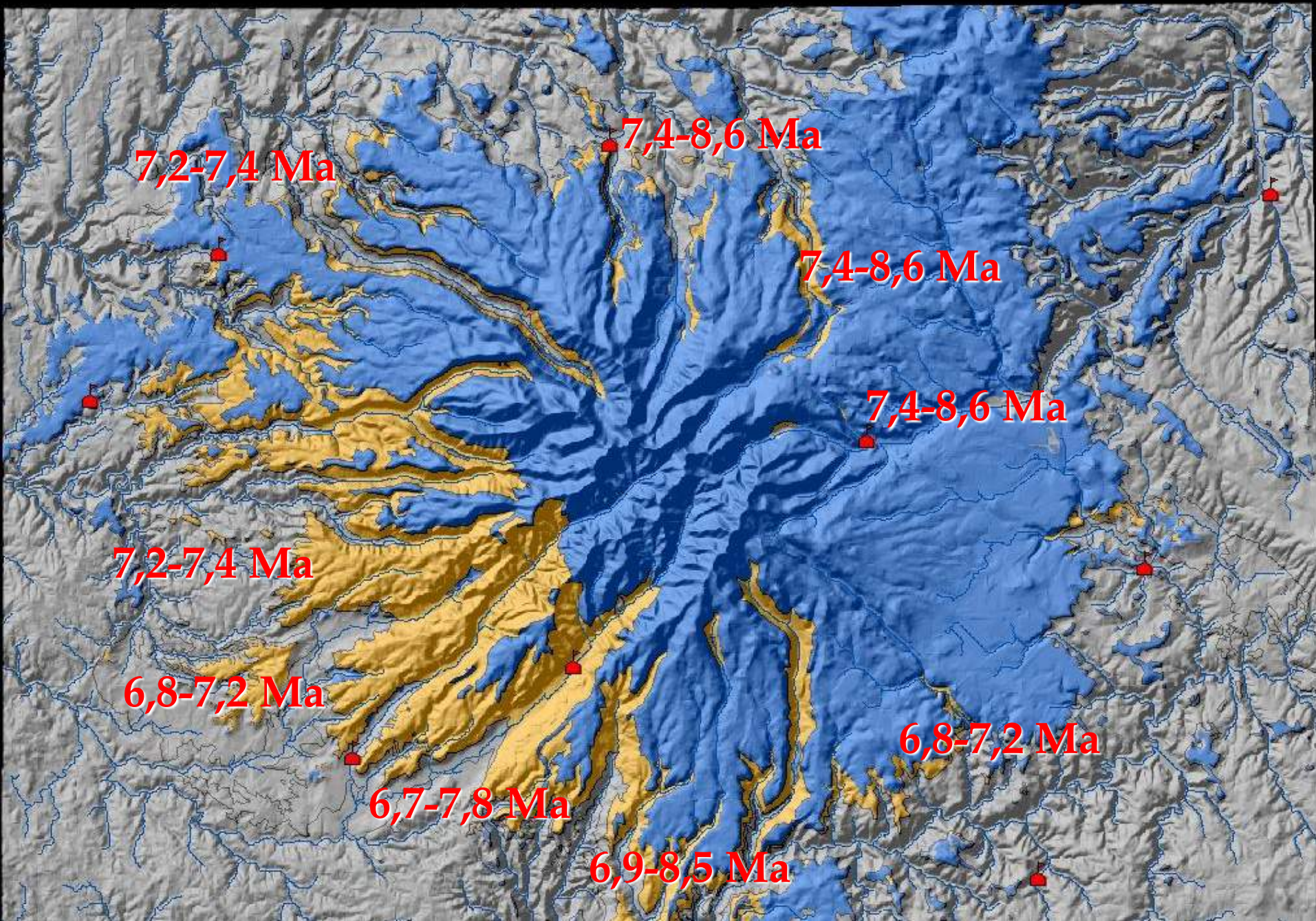
- édifice actuel : 2500 km², 385 km³
- cône trachyandésitique : 60 km³ (20°-->161km³)
- planèzes : 70 km³
- lahars : 10 km³
- avalanches de débris : 245 km³

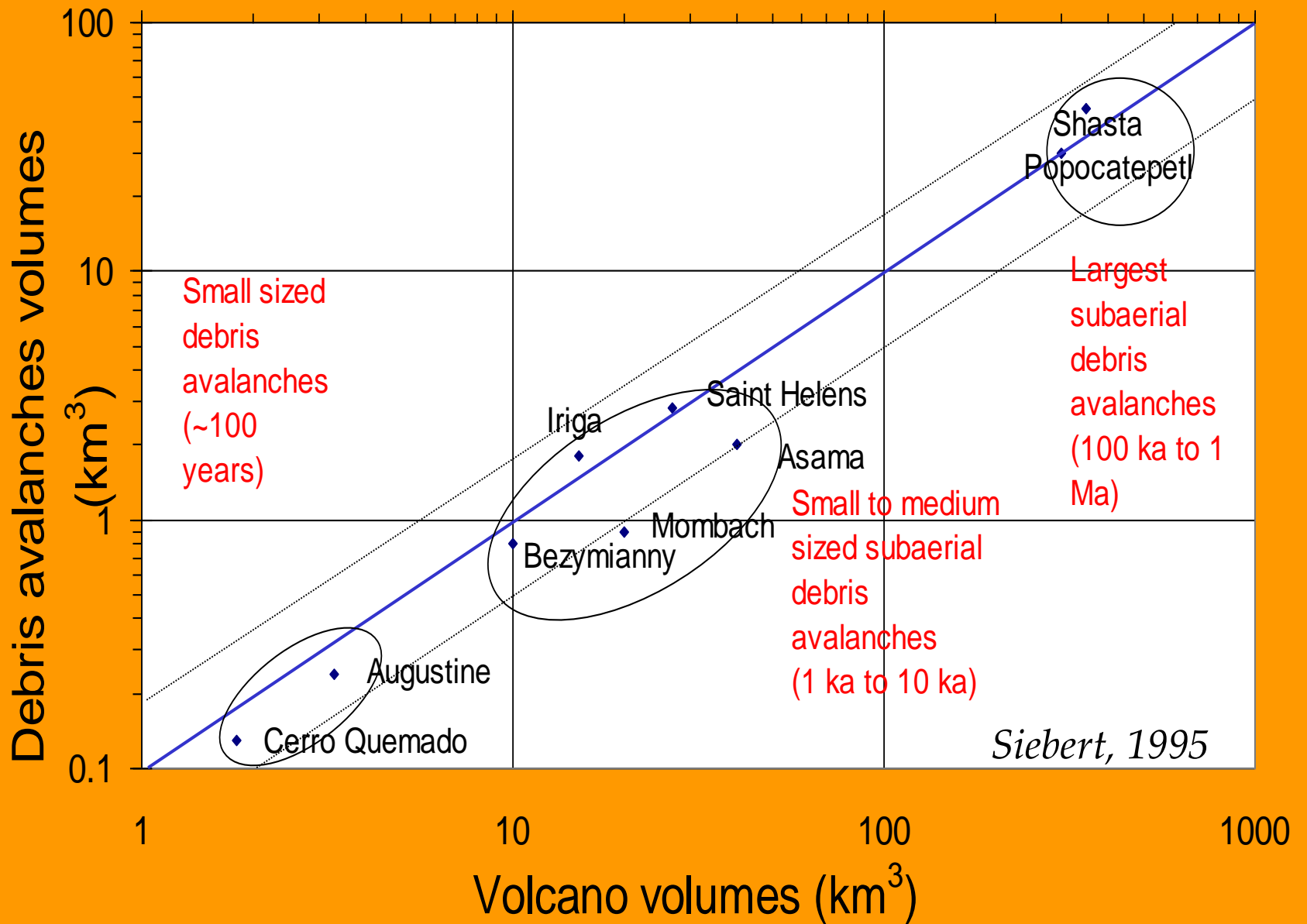


-  Substratum
-  Dépôts d'avalanche de débris
-  Dépôts lahariques indifférenciés
-  Paléovolcan
-  Néovolcan
-  Dépôts pyroclastiques
-  Coulées de débris
-  Chenaux actifs à faciès fluviaux graveleux et sableux

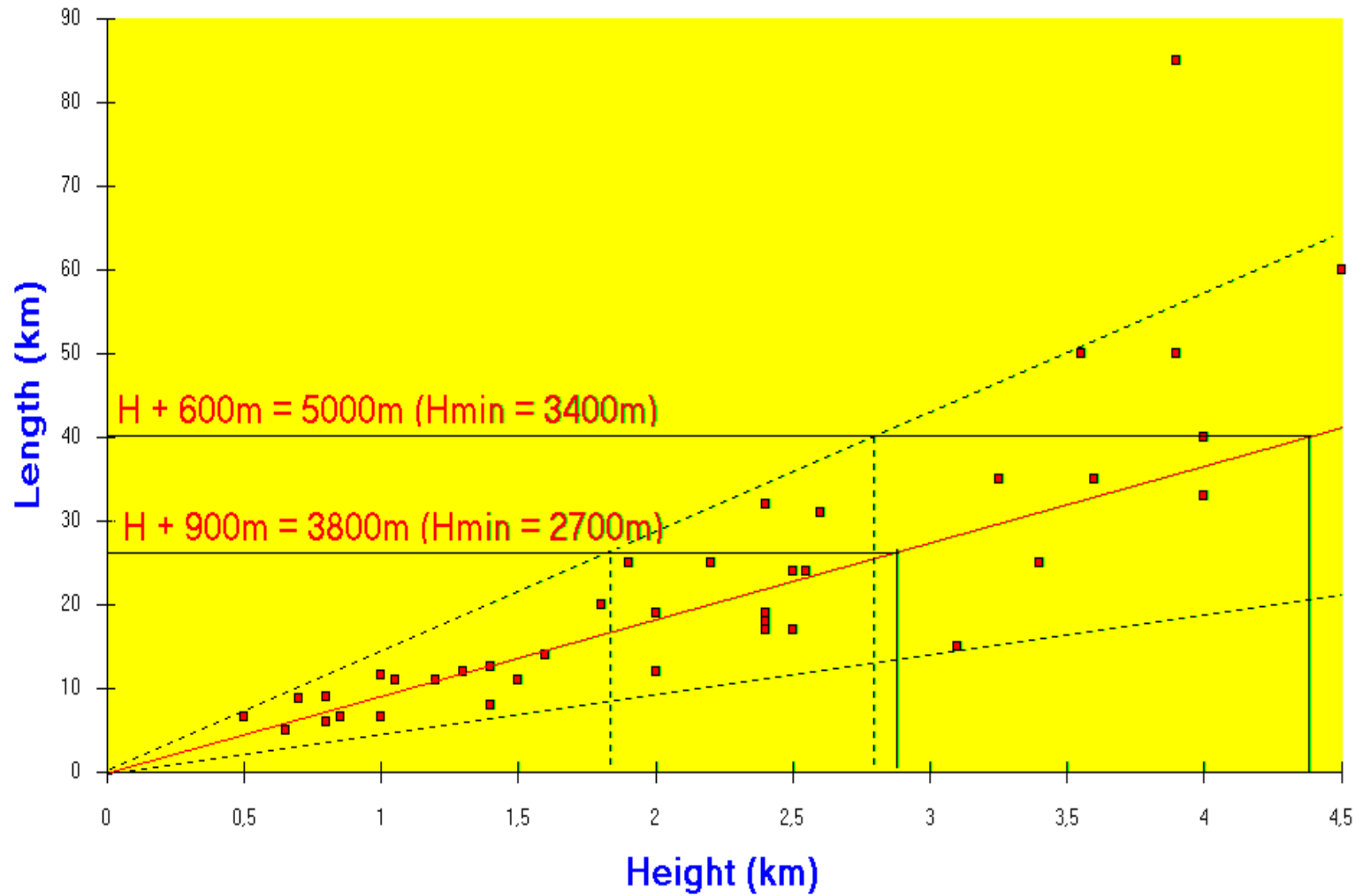


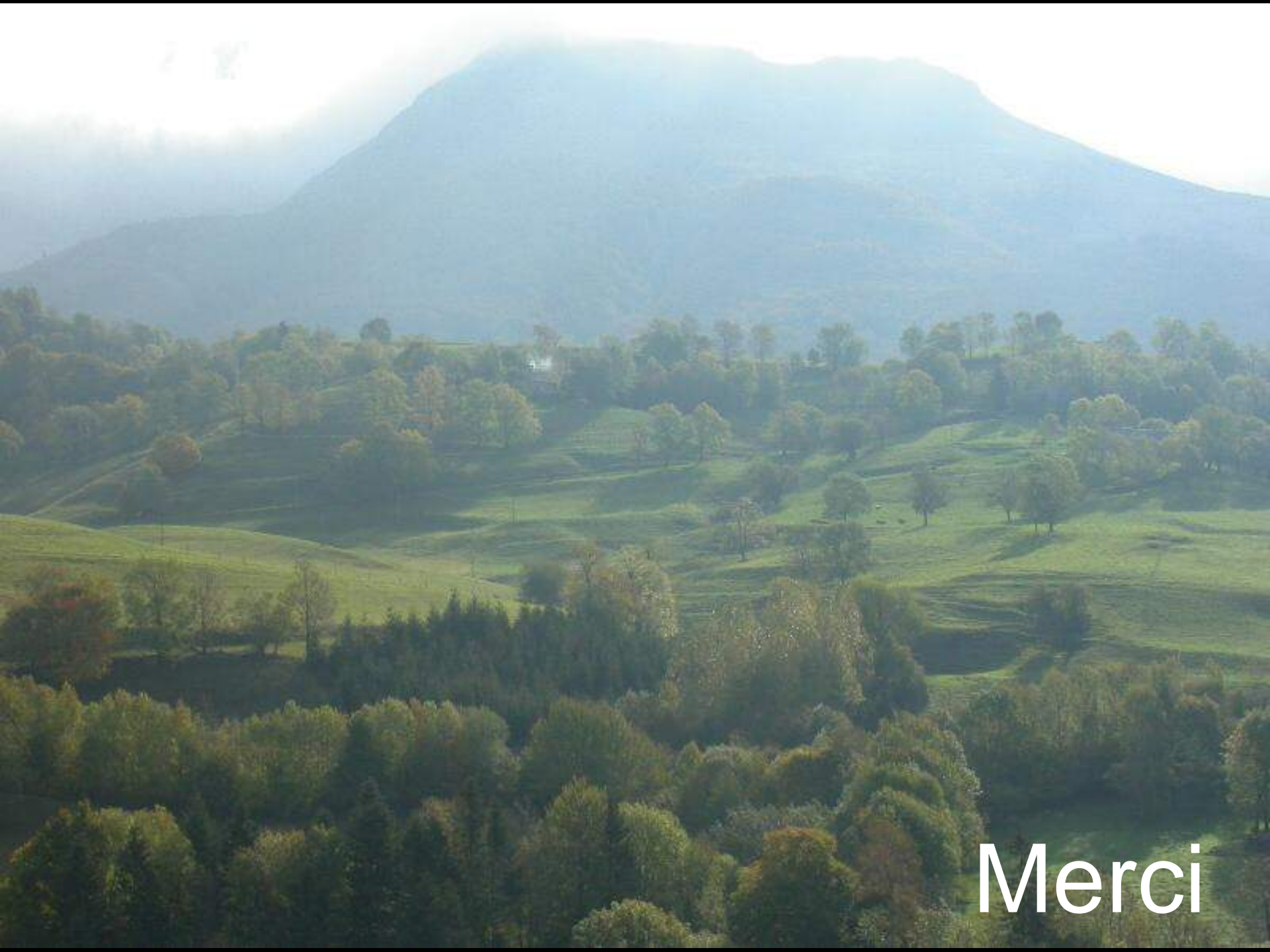
Avalanches de débris





CANTAL - Paleoaltitude





Merci