

Magmatisme 1:

Etude d'un exemple de série magmatique dans son contexte



La chaîne des Puys diversité des édifices

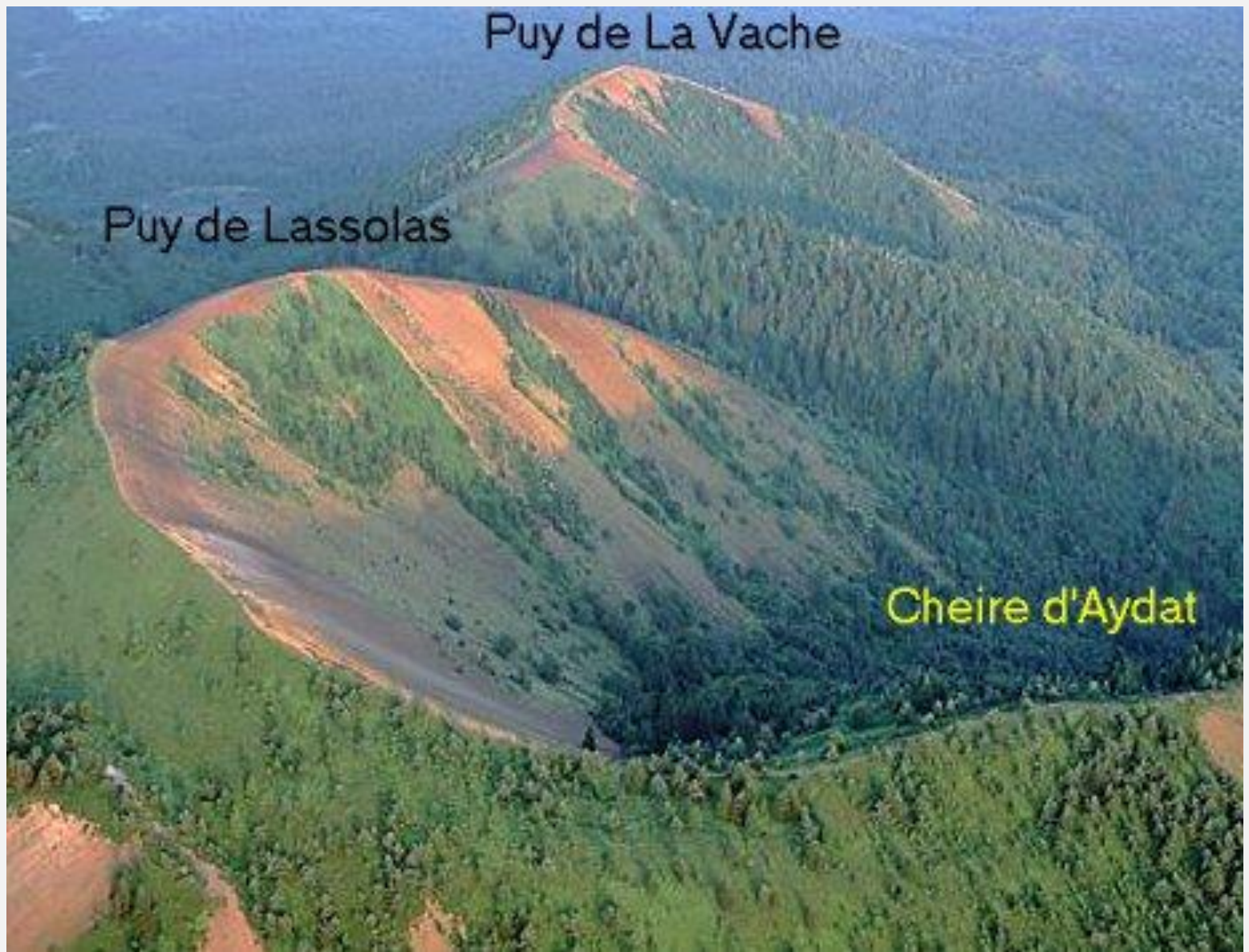


Le Puy de Dôme



Le Puy de Come



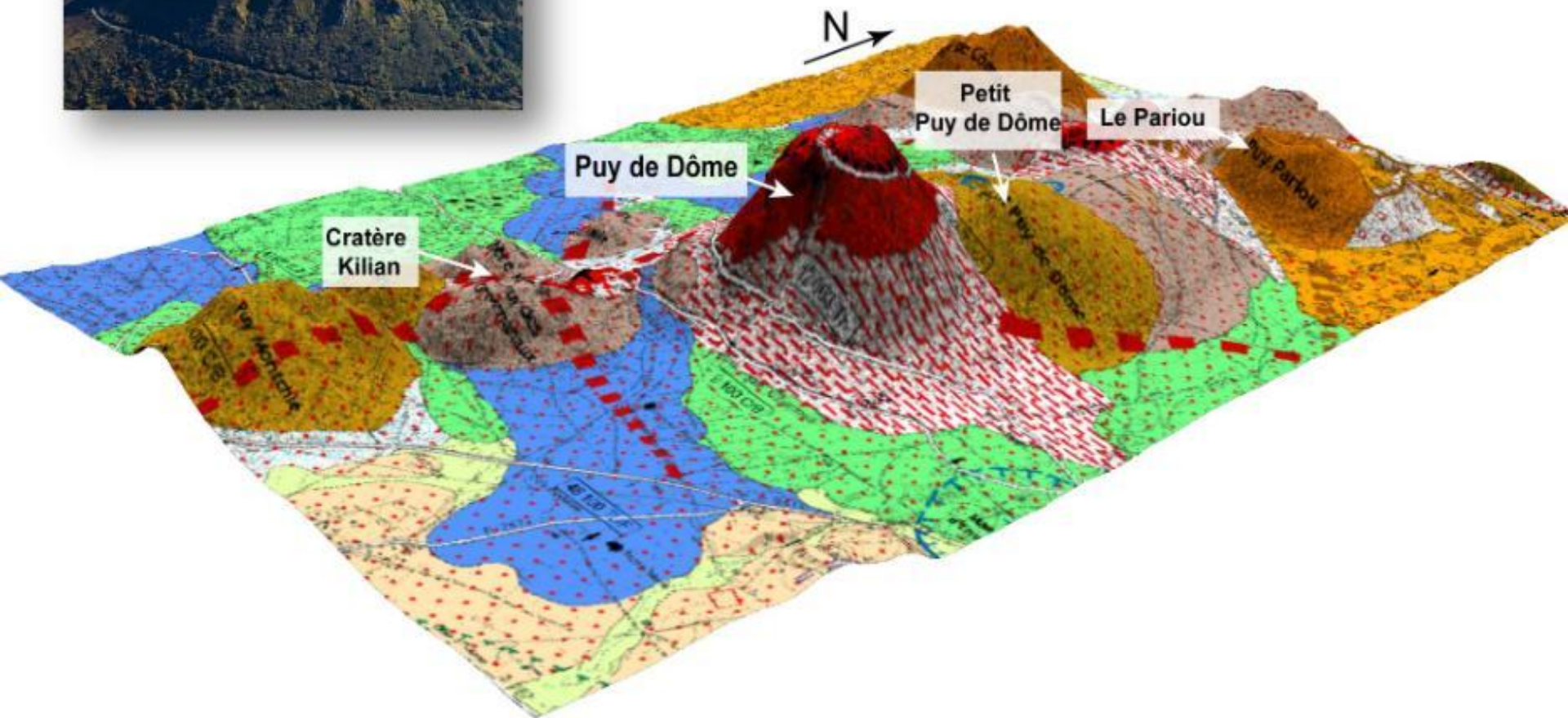


Puy de La Vache

Puy de Lassolas

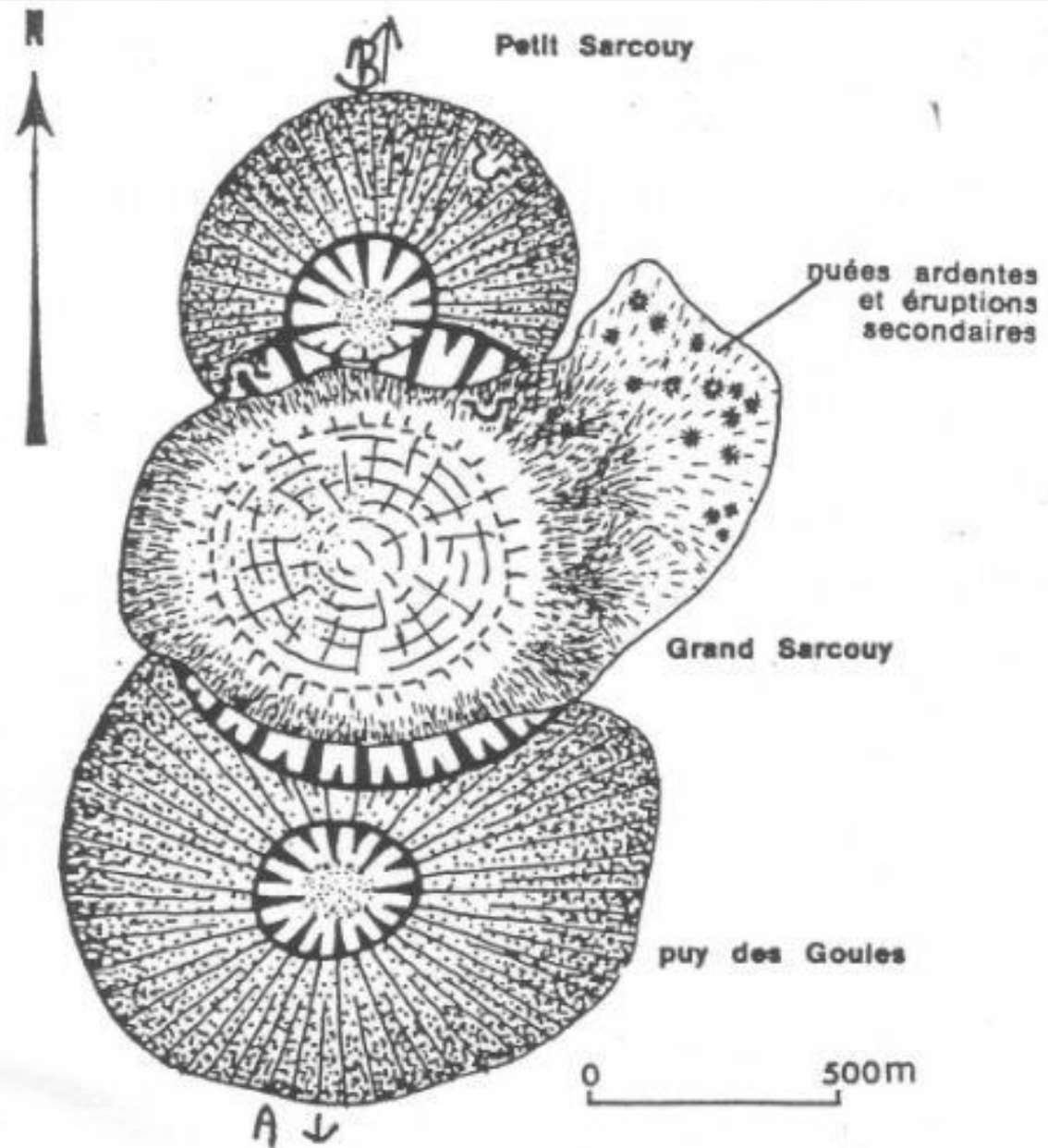
Cheire d'Aydat

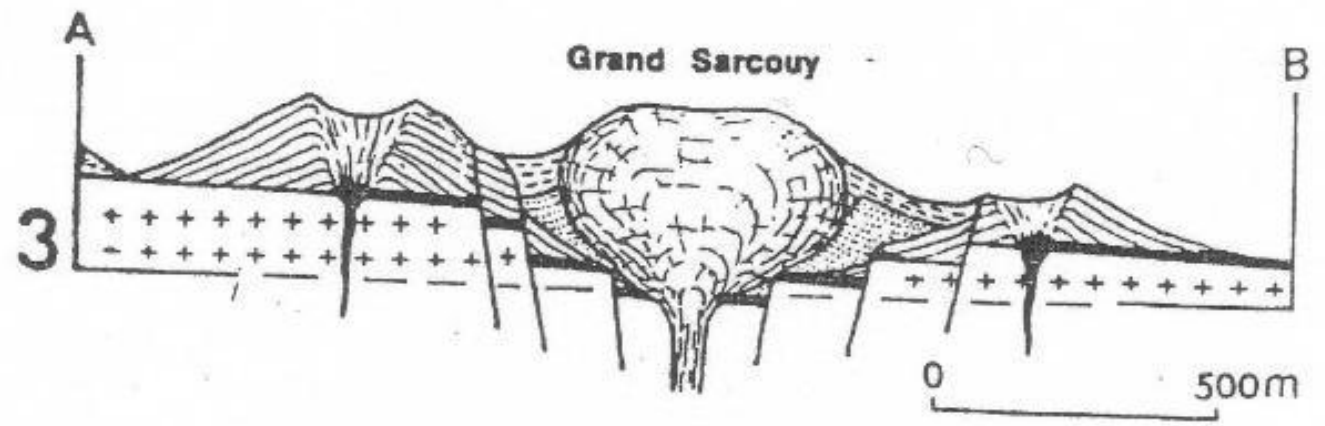
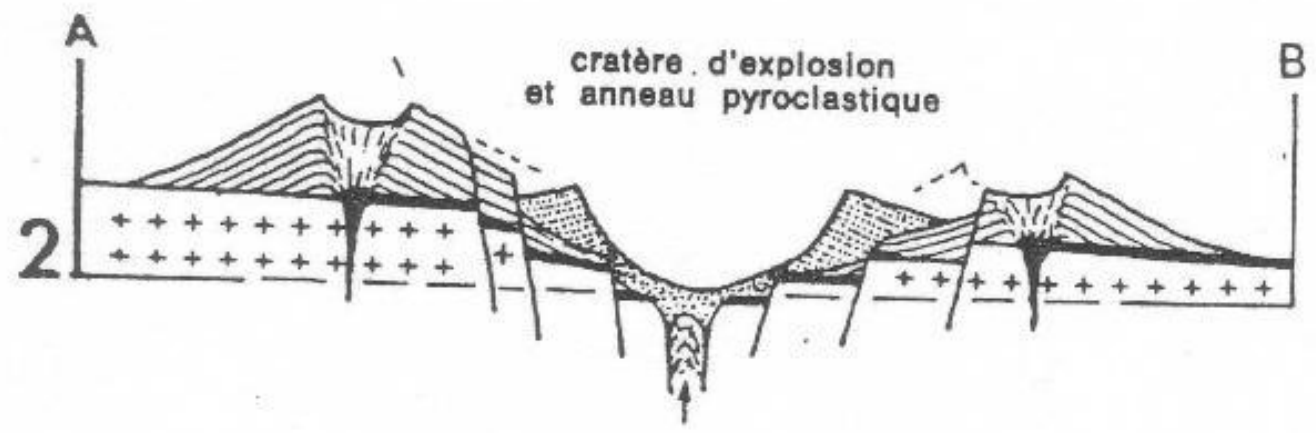
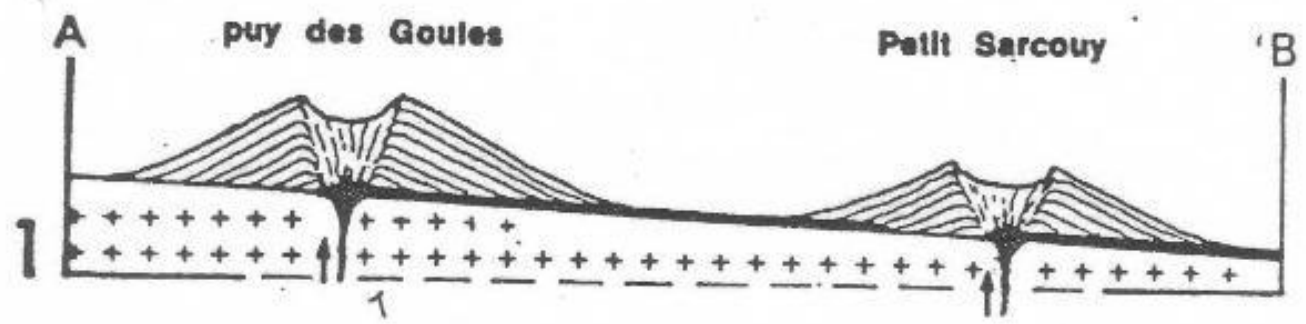
Volcan de la Chaîne des Puys (à l'ouest de l'hémi-graben de la Limagne)



Photos : Soissons, P.

Carte volcanologique de la Chaîne des Puys, 5^e éd. (Boivin et al., 2009)





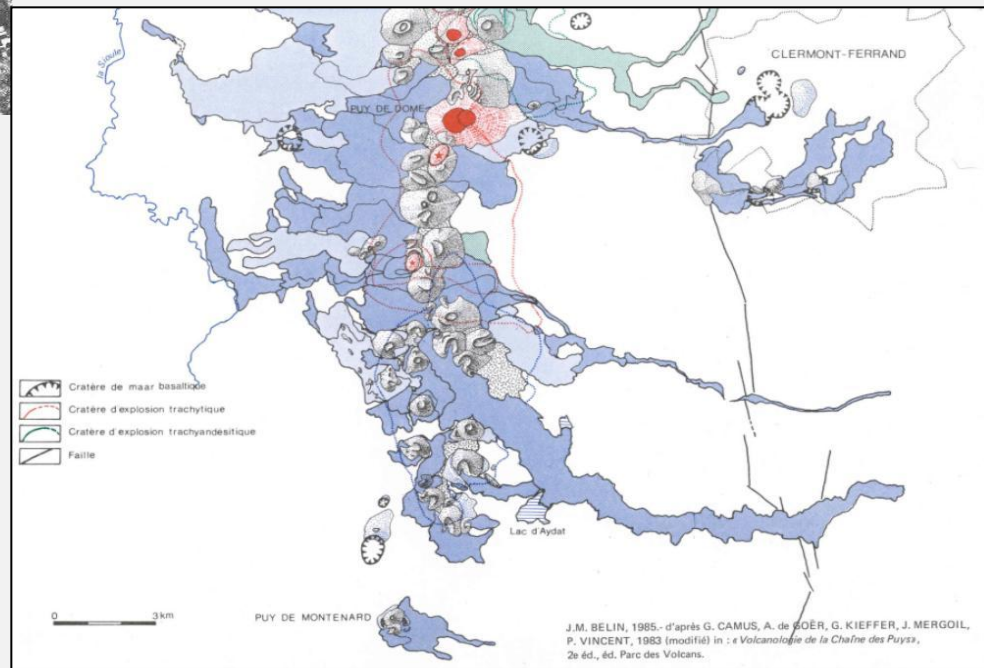


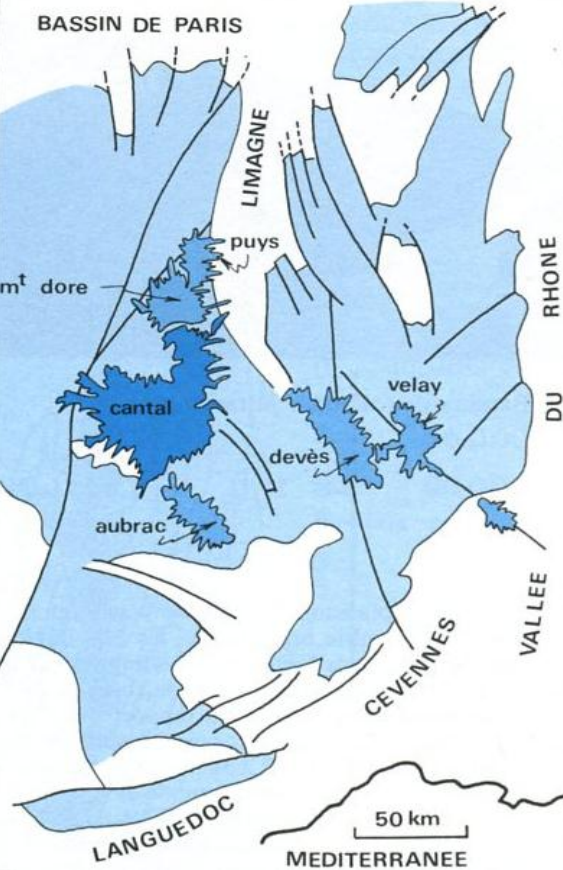
La Chaîne des Puys vue par le satellite SPOT le 10 novembre 1986.

Droits réservés - © 1987 André Simonin, Bull. APBG 2 bis, p.121

<http://planet-terre.ens-lyon.fr/article/dynamisme-eruptif-puys.xml>

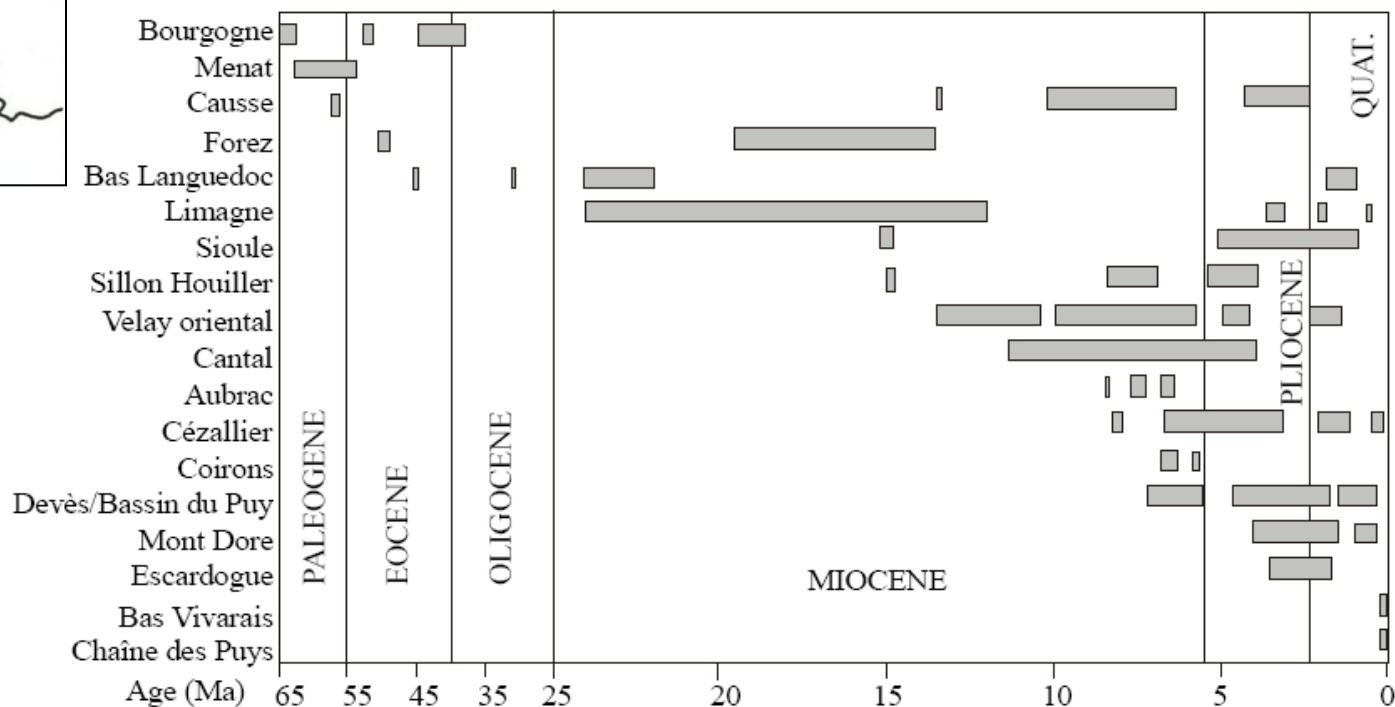
Carte géologique simplifiée de la Chaîne des Puys.





Document 1. Localisation (à gauche) et âge (ci-dessous) des principaux ensemble volcaniques du Massif Central français.

(Nehlig P. et coll., 2003 in : <http://www2.brgm.fr/volcan/papgeologue.pdf> et Dercourt J., Paquet J., « Géologie : Objets et méthodes » Dunod Ed.).



	Basalte alcalin	Trachyte	Rhyolite
Quartz	-	5	32
Orthose*	5	30	30
Albite*	20	47	25
Anorthite*	25	7	5
Feldspathoïdes	5	0	0
Diopside et hypersthène	21	11	0
Olivine	20		0
Magnétite	4		0
Micas, amphiboles	0		8

*L'orthose est un feldspath potassique, l'albite est un feldspath plagioclase sodique, l'anorthite est un feldspath plagioclase calcique.

Document 4. Composition minéralogique normative de trois roches échantillonnées dans la chaîne des Puys.

A partir de la composition d'une roche en pourcentage pondéraux d'oxydes, on calcule une composition minéralogique normative ou norme en regroupant les éléments chimiques majeurs pour construire des minéraux « théoriques » (la composition modale, elle, indique la proportion des minéraux observés).

Détermination de la composition chimique globale d'une roche : utilisation d'une microsonde électronique

- un faisceau électronique est émis et dirigé sur l'échantillon
- des électrons sont réfractés, d'où un rayonnement secondaire envoyé vers le réfractomètre,
- la longueur d'onde, l'énergie, la masse des particules du faisceau secondaire permettent de déterminer la nature des éléments contenus dans l'échantillon et de les quantifier.

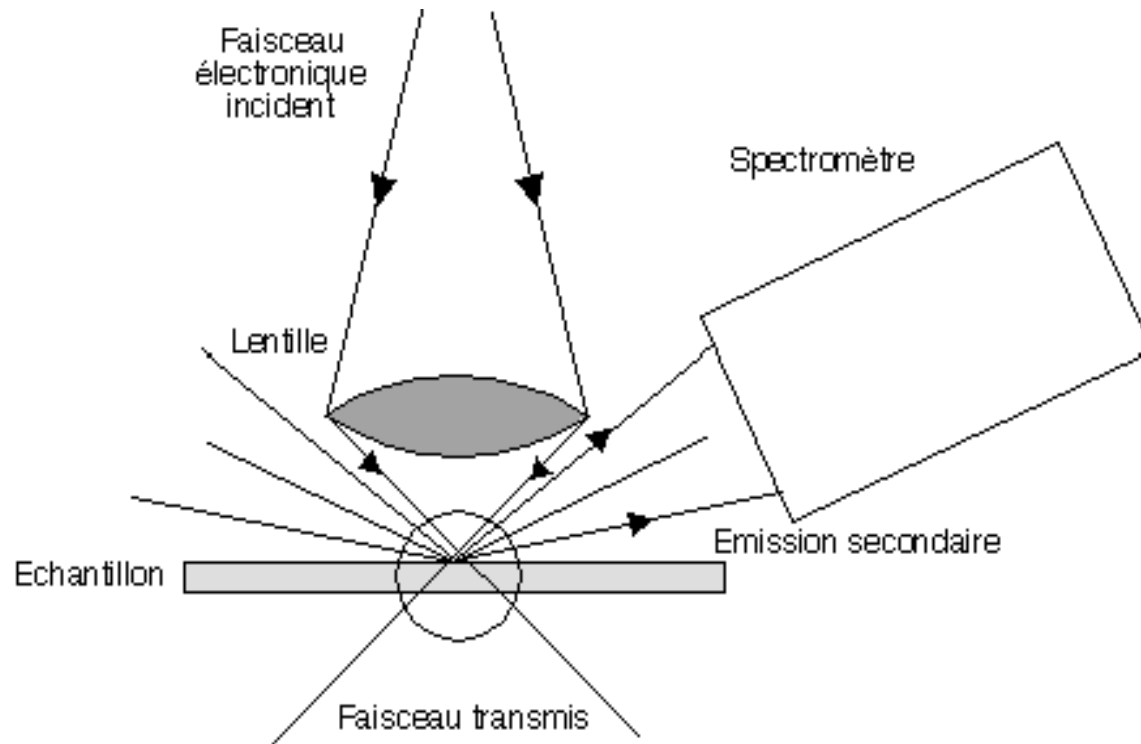
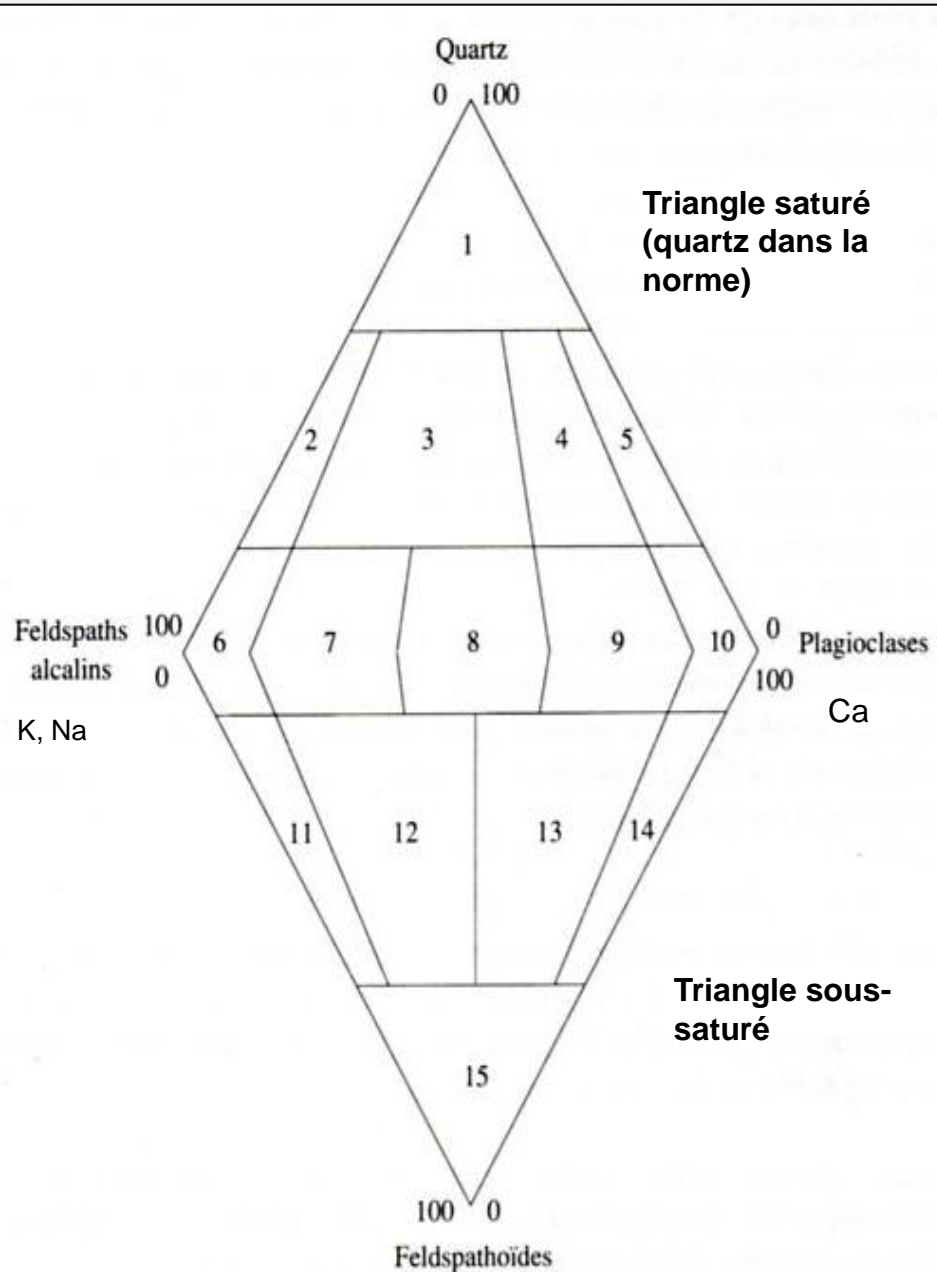


Diagramme de classification des roches magmatiques.

Classification de Streckeisen pour les roches plutoniques, étendue aux roches volcaniques.

- | | |
|---|--|
| 1 : roches hyperquartzzeuses | |
| 2 : GRANITES ALCALINS
Rhyolites alcalines | 9 : MONZODIORITES MONZOGABBROS
Trachyandésites Trachybasaltes |
| 3 : GRANITES
Rhyolites | 10 : DIORITES GABBROS
Andésites Basaltes |
| 4 : GRANODIORITES
Dacites | 11 : SYENITES FELDSPATHOÏDIQUES
Phonolites feldspathoïdiques |
| 5 : TONALITES
Andésites Basaltes quartziques | 12 : MONZOSYENITES FELDSPATHOÏDIQUES
Phonolites |
| 6 : SYENITES ALCALINES
Trachytes alcalins | 13 : ESSEXITES
Téphrites |
| 7 : SYENITES
Trachytes | 14 : THERALITES
Basanites |
| 8 : MONZONITES
Latites | 15 : FELDSPATHOÏDITES (IOLITES, MISSOURITES)
Néphélinites, leucitites |

En majuscules : roches plutoniques. En minuscules : roches volcaniques.



Document 2. Classification simplifiée des roches magmatiques.

Origine et structure	Minéraux clairs / Minéraux sombres	Excès de silice		Equilibre de silice			Déficit de silice
		Quartz + Feldspaths		Feldspaths seuls			Feldspaths et felspathoïdes
		Orthose +/- Plagioclases	Plagioclases seuls	Orthose +/- Plagioclases	Plagioclases Anorthite <50	Plagioclases Anorthite >50	
Roches plutoniques = Structure grenue	Biotite Amphibole Pyroxène Olivine	<i>Granite</i>	<i>Granodiorite*</i>	<i>Syénite</i>	<i>Diorite</i>	<i>Gabbro</i>	<i>Syénite néphélinique</i>
Roches Volcaniques = Structure microlithique	Biotite Amphibole Pyroxène Olivine	<i>Rhyolite</i>		<i>Trachyte</i>	<i>Andésite</i>	<i>Basalte</i>	<i>Phonolite Basanite</i>

* parfois quelques pyroxènes

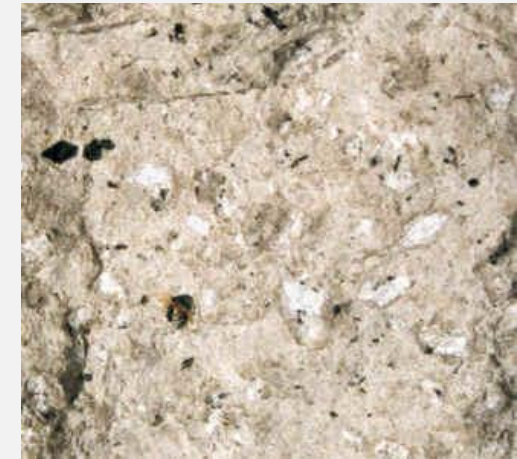
Nota :

- les roches ultrabasiques (péridotites s. l.) ne sont pas prises en compte dans cette classification ;
- les roches sont en italique, seules les roches soulignées sont à connaître.

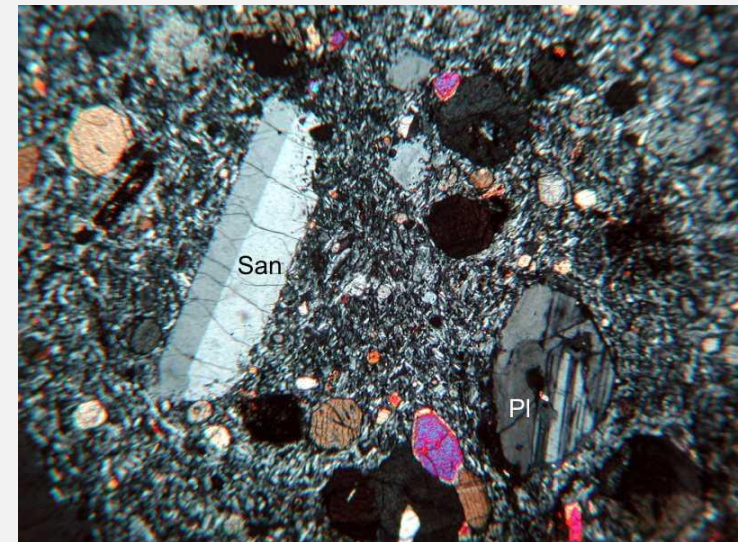
Caractéristiques de roches de la chaîne des Puys



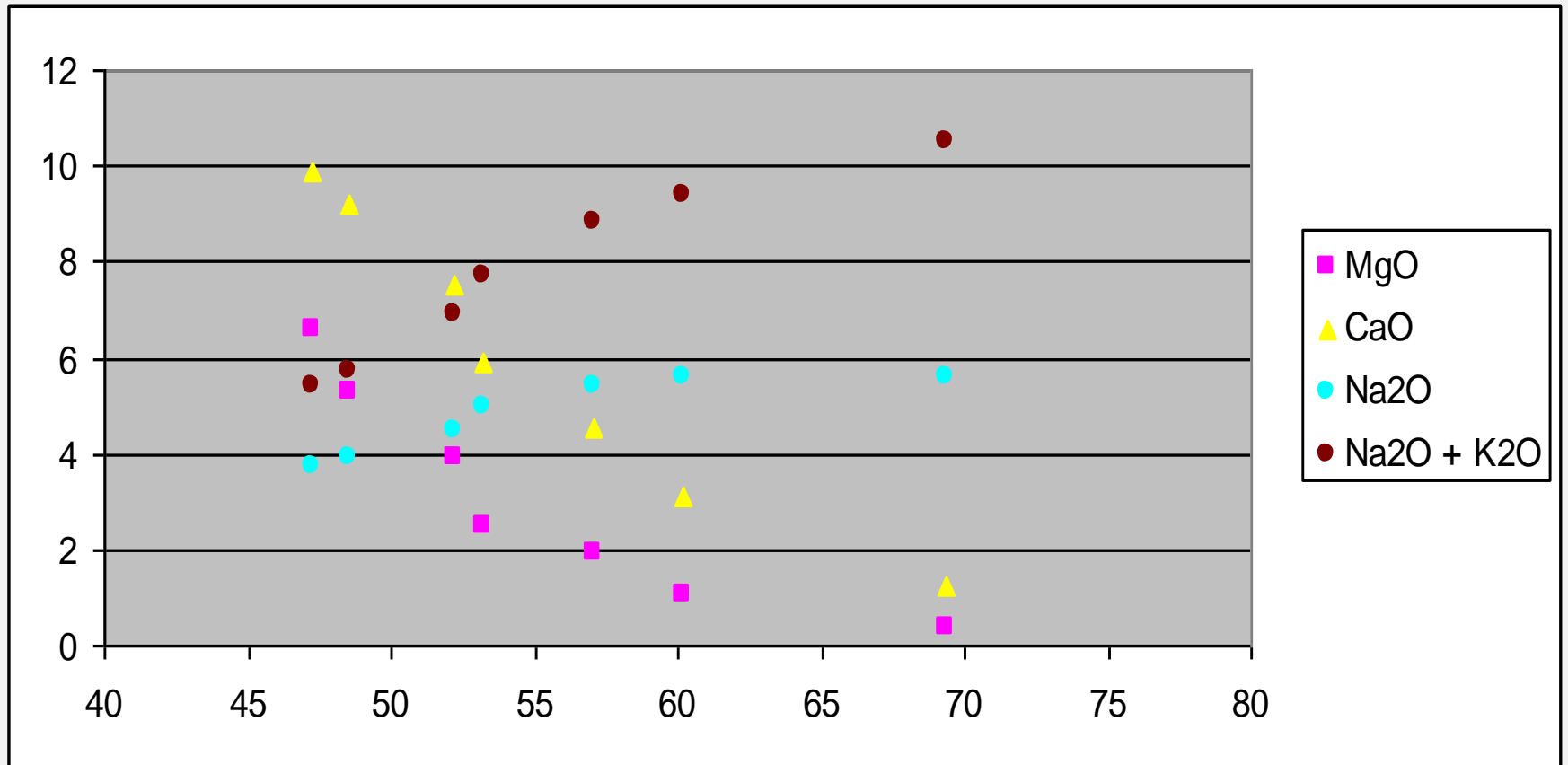
Basalte alcalin
de Saint-Saturnin



Trachyte



	SiO₂	Al₂O₃	FeO	MgO	CaO	Na₂O	K₂O	TiO₂	MnO	P₂O₅
Basalte	45.40	16.10	12.00	6.90	10.50	2.70	2.00	3.60	0.19	0.64
Trachyte	65.05	19.65	3.25	0.75	1.25	5.05	3.90	0.50	0.15	0.10



Evolution de MgO, CaO, Na₂O et Na₂O + K₂O en fonction de SiO₂ pour les roches étudiées

	péridotite	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6	CP7
ID		36,31	40,61	51,74	56,78	67,01	75,45	90,86
SiO ₂	42,26	47,25	48,50	52,20	53,21	57,10	60,20	69,35
TiO ₂	0,63	2,25	2,16	1,81	1,49	1,12	0,83	0,39
Al ₂ O ₃	4,23	15,85	16,56	16,9	17,6	17,89	17,90	15,55
Fe ₂ O ₃ ^T	11,49	12,08	11,86	9,84	11,75	6,83	4,69	2,38
MnO	0,41	0,17	0,18	0,20	0,20	0,19	0,22	0,18
MgO	31,24	6,62	5,28	3,89	2,48	1,94	1,07	0,36
CaO	5,05	9,86	9,21	7,55	5,89	4,53	3,10	1,25
Na ₂ O	0,49	3,70	3,92	4,45	5,00	5,42	5,58	5,60
K ₂ O	0,34	1,68	1,80	2,47	2,71	3,40	3,82	4,88
P ₂ O ₅	?	0,61	0,72	0,73	0,31	0,55	0,31	0,09

Cp1 : coulée de la cheire d'Aydat (basalte alcalin)

Cp2 : coulée de la vallée de la Tiretaine (hawaïite = « labradorite »)

Cp3 : coulée du Puy de Louchadière (mugéarite)

Cp4 : coulée du Pariou (mugéarite)

Cp5 : coulée du puy de la Nugère (benmoréite = « pierre de Volvic »)

Cp6 : dôme du Clerzou (benmoréite = « dômite à amphibole »)

Cp7 : dôme du puy de Dôme (trachyte = « dômite à biotite »)

Fe₂O₃^T = fer total sous forme de Fe₂O₃.

(ID : Indice de différenciation).

Document 5. Compositions chimiques de laves de différents édifices de la Chaîne des Puys et comparaison avec la péridotite mantellique.

(Bonin B., « Pétrologie endogène », Dunod Ed.).

Evolution des caractéristiques physiques des laves :

- Lave basaltique : faible viscosité, $T = 1\ 200\ ^\circ\text{C}$
- Lave trachytique : viscosité élevée, $T = 900\ ^\circ\text{C}$

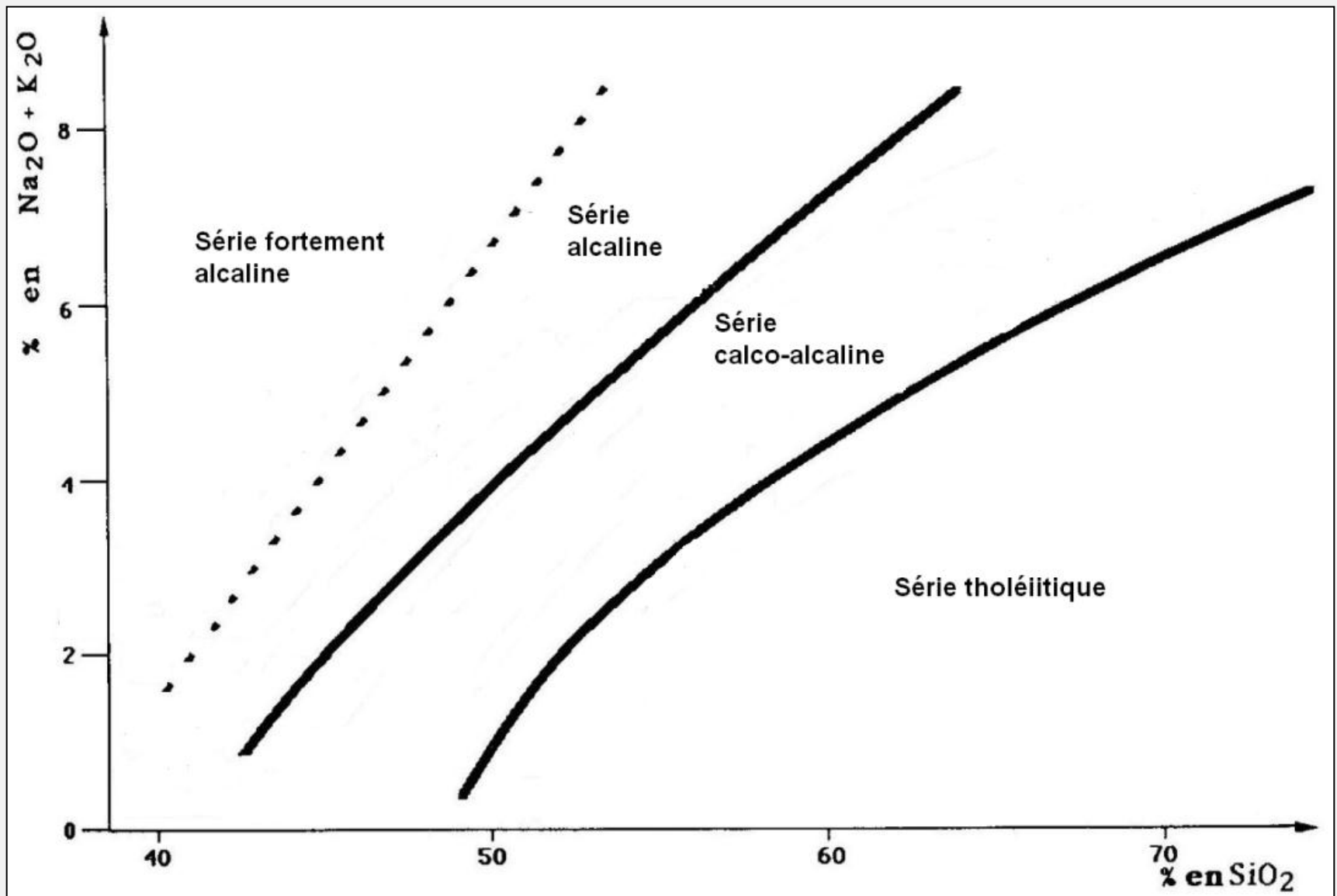
- **Unité de lieu**
- **Unité d'âge**
- **Continuum chimique, minéralogique = unité magmatique**

Les laves de la chaîne des Puys correspondent à une série magmatique différenciée

	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6	CP7
ID	36,31	40,61	51,74	56,78	67,01	75,45	90,86
SiO ₂	47,25	48,50	52,20	53,21	57,10	60,20	69,35
TiO ₂	2,25	2,16	1,81	1,49	1,12	0,83	0,39
Al ₂ O ₃	15,85	16,56	16,9	17,6	17,89	17,90	15,55
Fe ₂ O ₃ ^T	12,08	11,86	9,84	11,75	6,83	4,69	2,38
MnO	0,17	0,18	0,20	0,20	0,19	0,22	0,18
MgO	6,62	5,28	3,89	2,48	1,94	1,07	0,36
CaO	9,86	9,21	7,55	5,89	4,53	3,10	1,25
Na ₂ O	3,70	3,92	4,45	5,00	5,42	5,58	5,60
K ₂ O	1,68	1,80	2,47	2,71	3,40	3,82	4,88
P ₂ O ₅	0,61	0,72	0,73	0,31	0,55	0,31	0,09

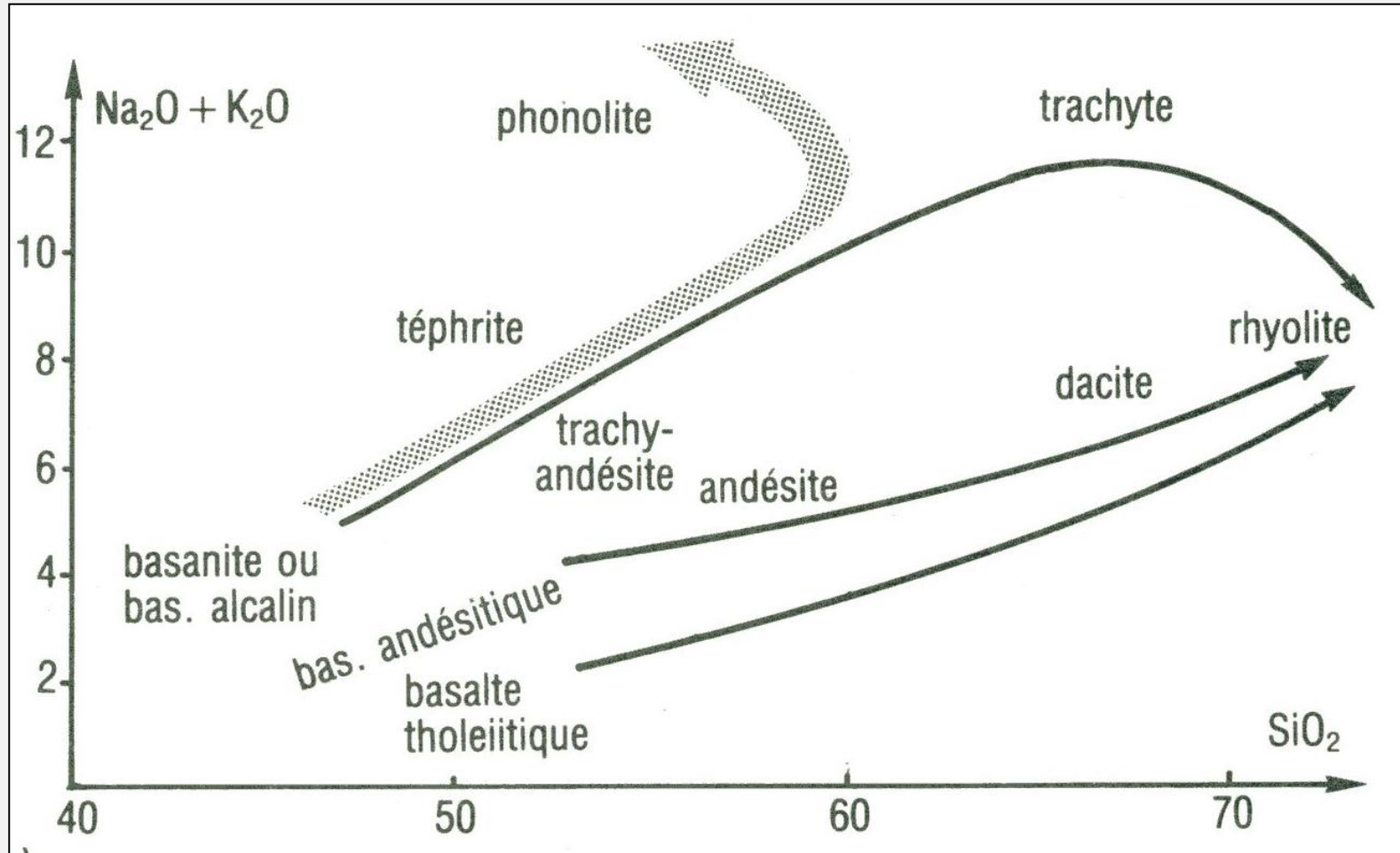
Cp1 : coulée de la cheire d'Aydat (basalte alcalin)
 Cp2 : coulée de la vallée de la Tiretaine (hawaïte = « labradorite »)
 Cp3 : coulée du Puy de Louchadière (mugéarite)
 Cp4 : coulée du Pariou (mugéarite)
 Cp5 : coulée du puy de la Nugère (benmoréite = « pierre de Volvic »)
 Cp6 : dôme du Clierzou (benmoréite = « dômite à amphibole »)
 Cp7 : dôme du puy de Dôme (trachyte = « dômite à biotite »)
 Fe₂O₃^T = fer total sous forme de Fe₂O₃.
 (ID : Indice de différenciation).

Termes les plus différenciés

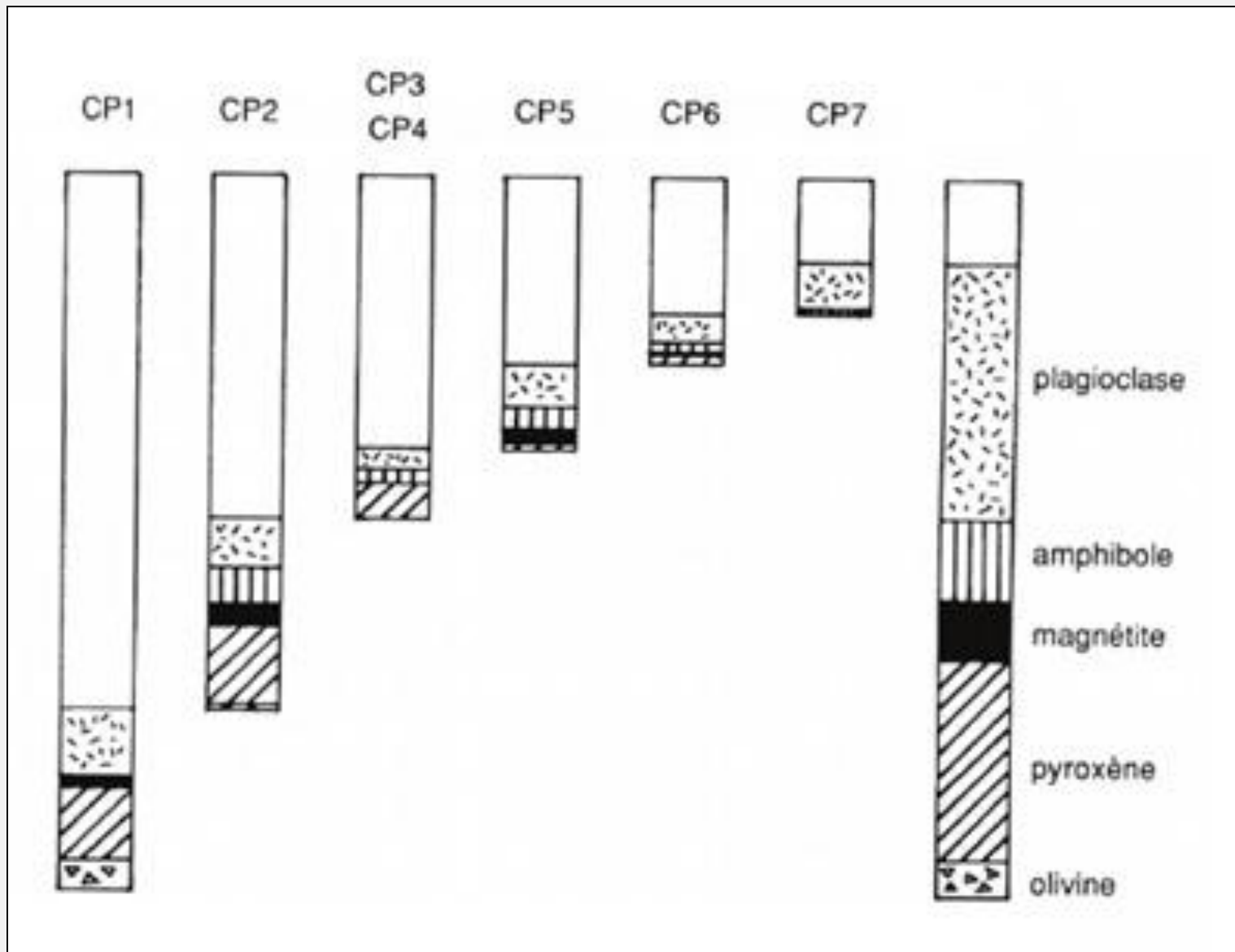


Document 6. Les différentes séries magmatiques et leur position dans un diagramme alcalins – silice (diagramme de Harker).

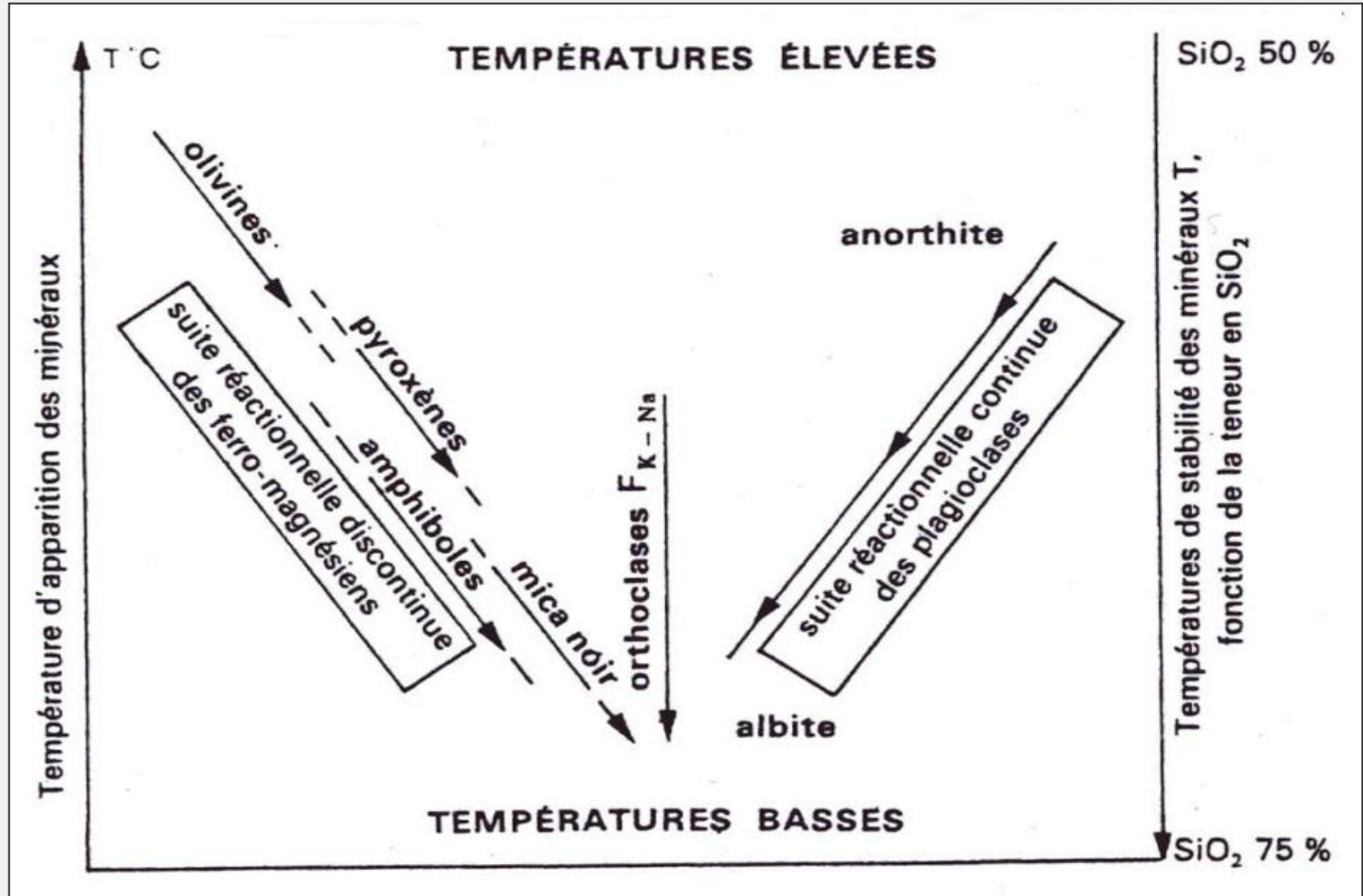
Généralisation : notion de série magmatique



Situation des laves dans le diagramme $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}) / \text{SiO}_2$.
(Bardintzeff J.M., dans " Enseigner la géologie ", Nathan Ed.)



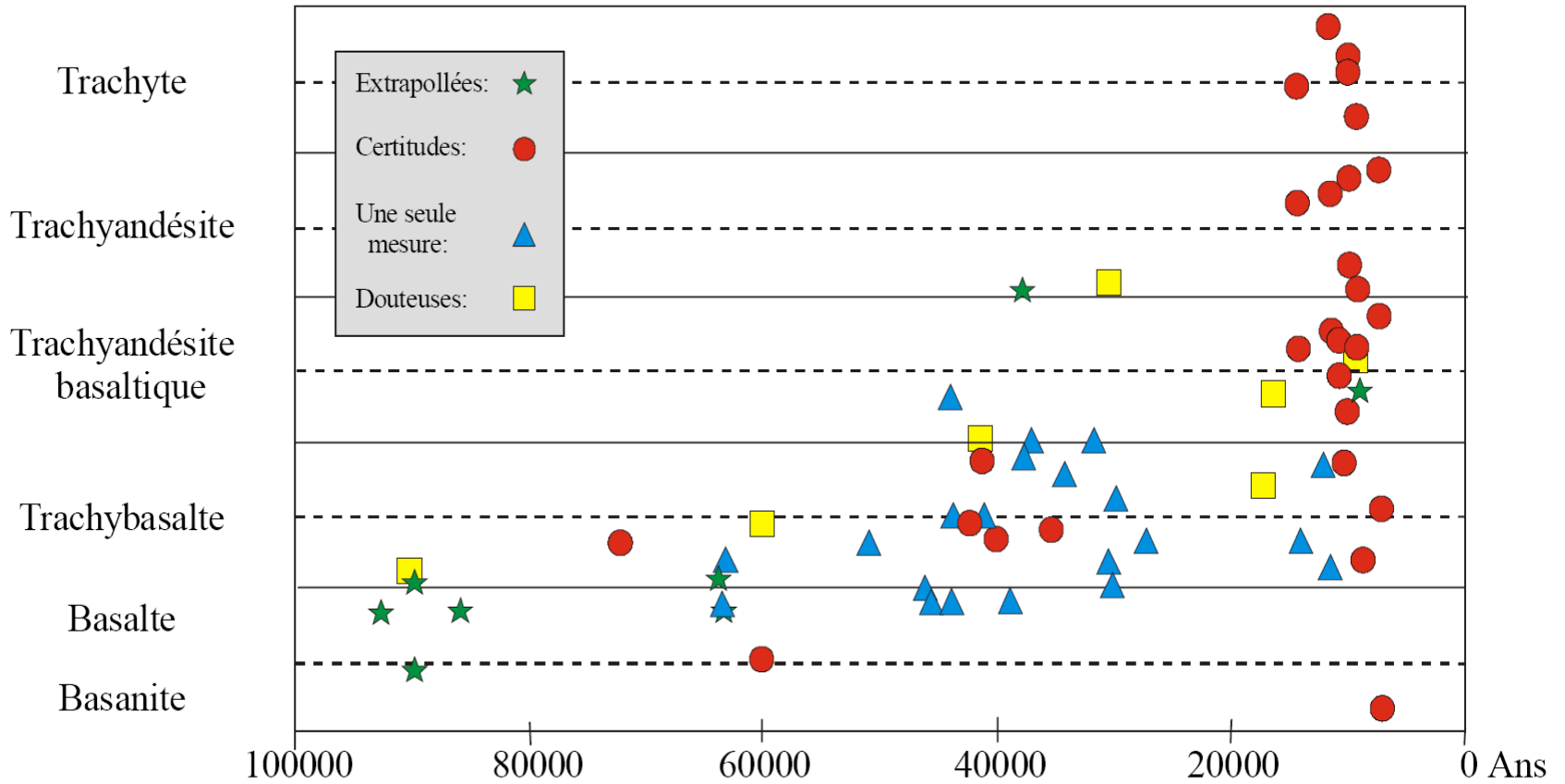
Document 7. Composition minéralogique des roches de la chaîne des Puys (CP1 à CP7 : voir document 5).



Document 8. Les suites réactionnelles de Bowen.













Dès 1922, Bowen et ses collaborateurs ont mis en évidence expérimentalement un ordre de cristallisation des minéraux à partir d'un magma primaire, en fonction de la température et de la teneur en silice du magma initial.

(Dercourt J., Paquet J., « Géologie : objets et méthodes », Dunod Ed.).



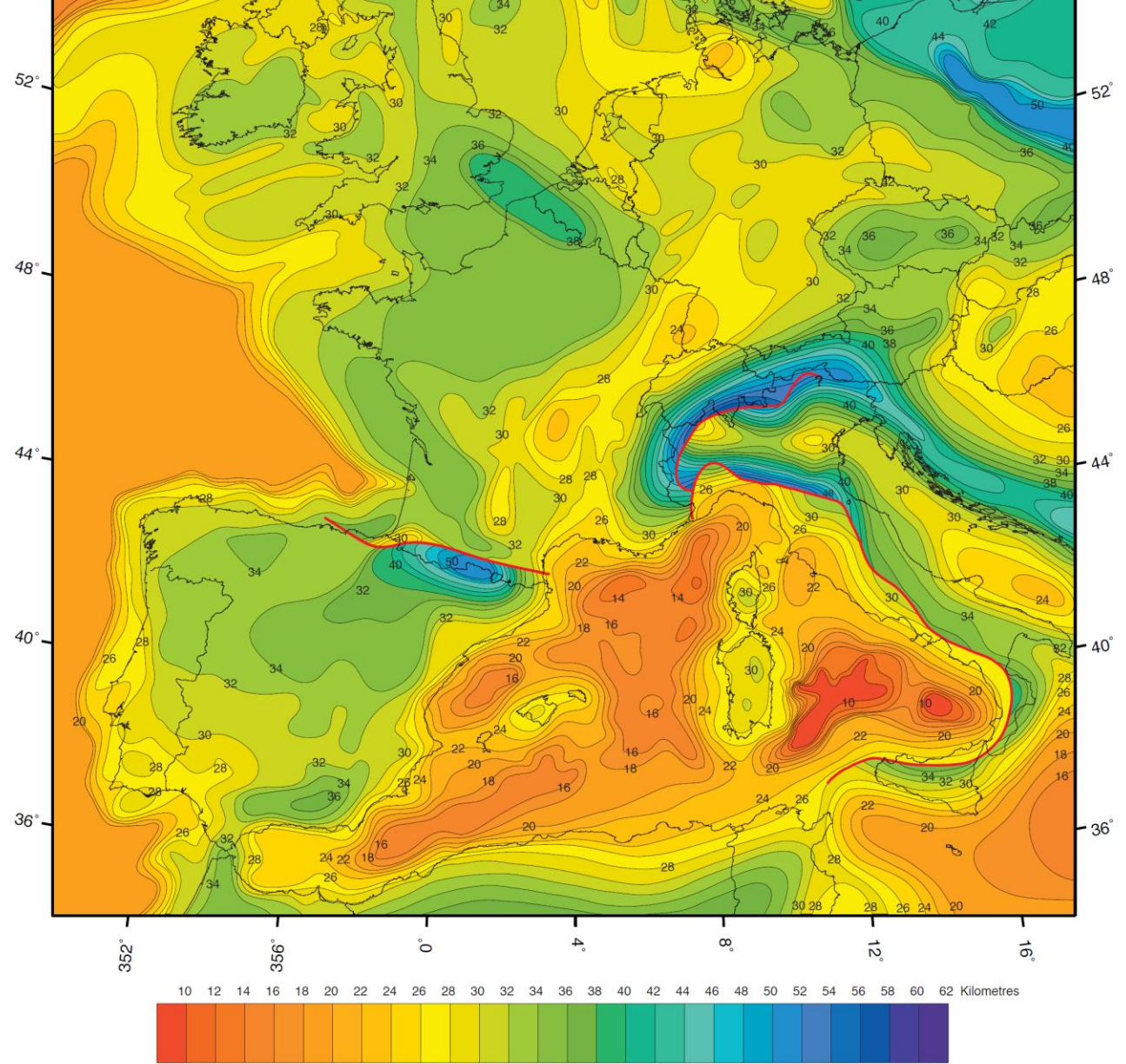
D'après ROSSEEL (1995)

Document 9. Ages des différentes roches volcaniques de la chaîne des Puy.

Magma	Température d'émission					
		1160 °C		900 °C		
	Teneur en silice					
	48-52 %		52-63 %		63-68 %	68-77 %
Viscosité						
	Faible	Forte	Très forte	Extrême		

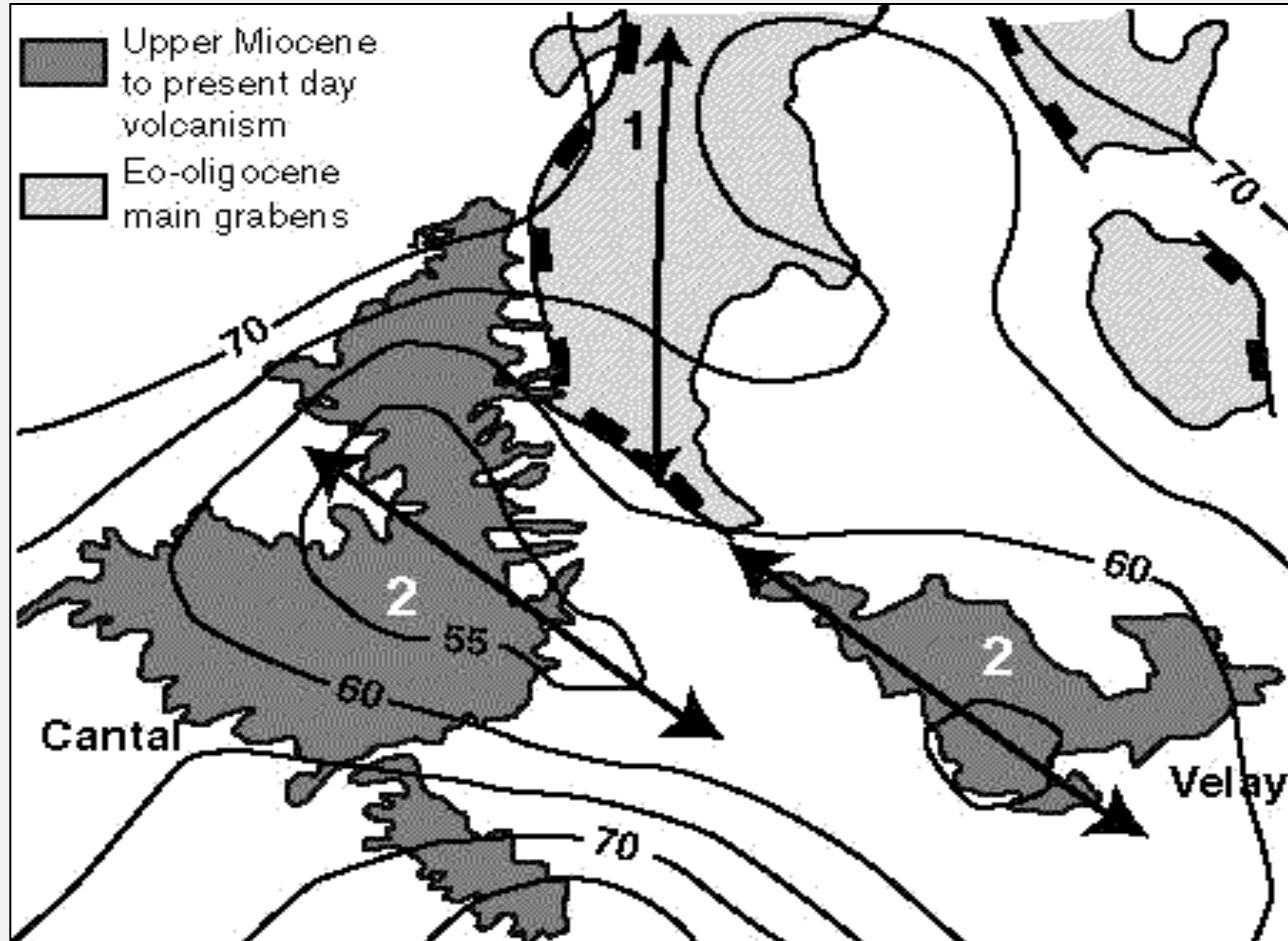
Document 10. Quelques caractéristiques des magmas.

Carte du Moho Européen



Projection: Lambert Azimuthal Equal Area; Centre: 04°.00"/48°.00"; Region : W/E/N/S = 350°/28°/62°/34°; Ellipsoïde wgs-84

Depth to the Mohorovicic discontinuity, compiled with data from: Aljinovic et al. 1987; Ansgore et al. 1992; Argnani and Savelli 2001; Argnani and Torelli 2001; Arlitt et al. 1999; Blundell et al. 1992; Bois et al. 1994; Carrara 2001; Chadwick & Pharaoh, 1998; Chamot-Rooke et al. 1999; Chantraine et al. 1996; Cloetingh & Lankreijer 2001; Deichmann et al. 2000; Frasher et al. 1996; Giese & Bunes 1992; Hansen et al. 2000; Lekey 1999; Monaghan 2001; Morelli, 1998; Prodehl et al. 1995; Pfiffner et al. 1996; Rocca 2001; Rousset et al. 1993; Scarascia et al. 1994; Slejko et al. 1987; Skoko et al. 1987; Thybo et al. 1998; Torné et al. 1996; Van Wees 2000; Waldhauser 1998; Zeyen et al. 1997; Ziegler 1990



Document 11. Carte de la limite lithosphère - asthénosphère sous le Massif Central.

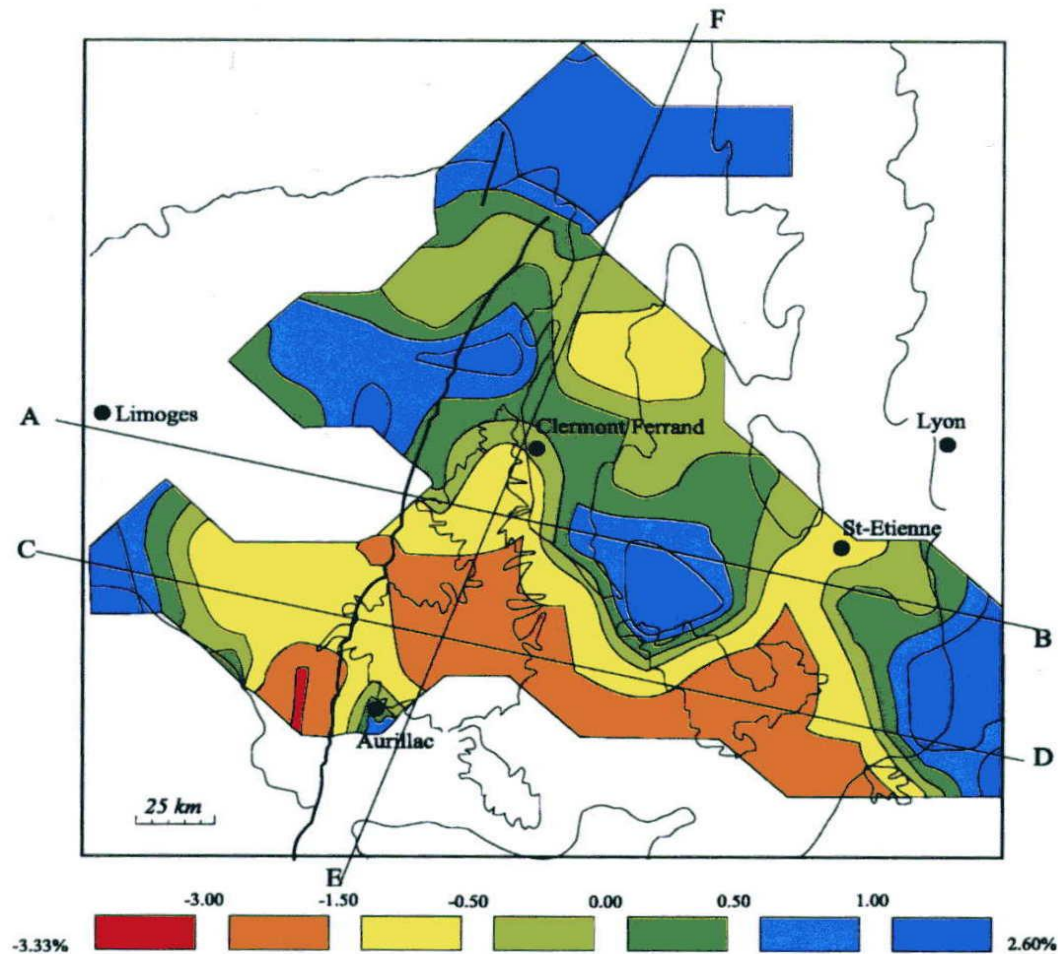
Le toit de l'athénosphère n'est qu'à 50-55 km sous le Cantal, 70 km sous le reste de la zone cartée, et 140 km en dehors du Massif Central.

1 : orientation de l'amincissement crustal eo-oligocène dans le Nord du Massif Central.

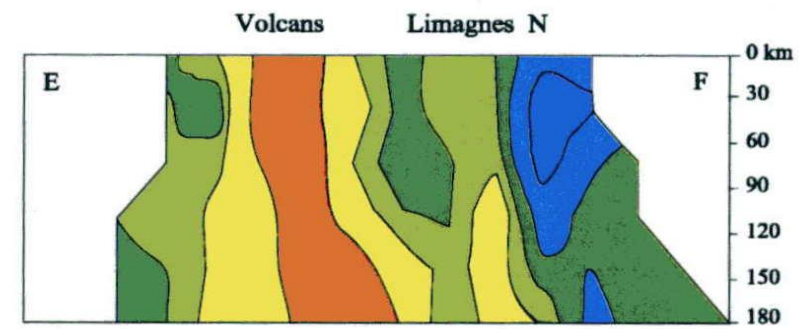
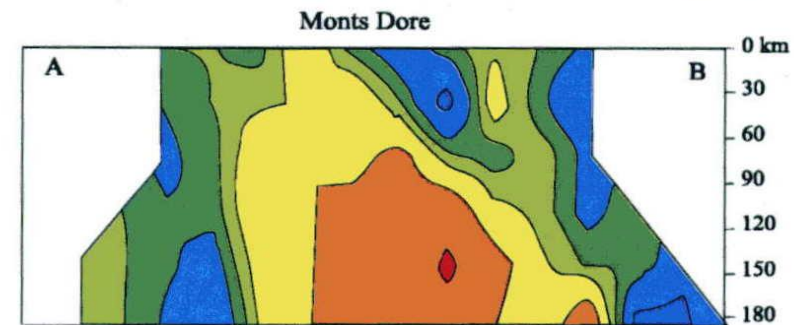
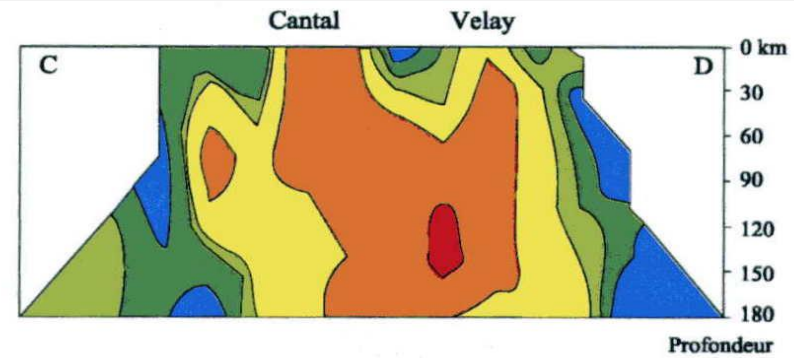
2 : orientation de l'anomalie thermique dans le Sud.

Source : Olivier Merle, Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand.

<http://planet-terre.ens-lyon.fr/article/volcanisme-massif-central.xml>



D'après Granet, Stroll, Dorel, Poupinet et Achauer, 1992.



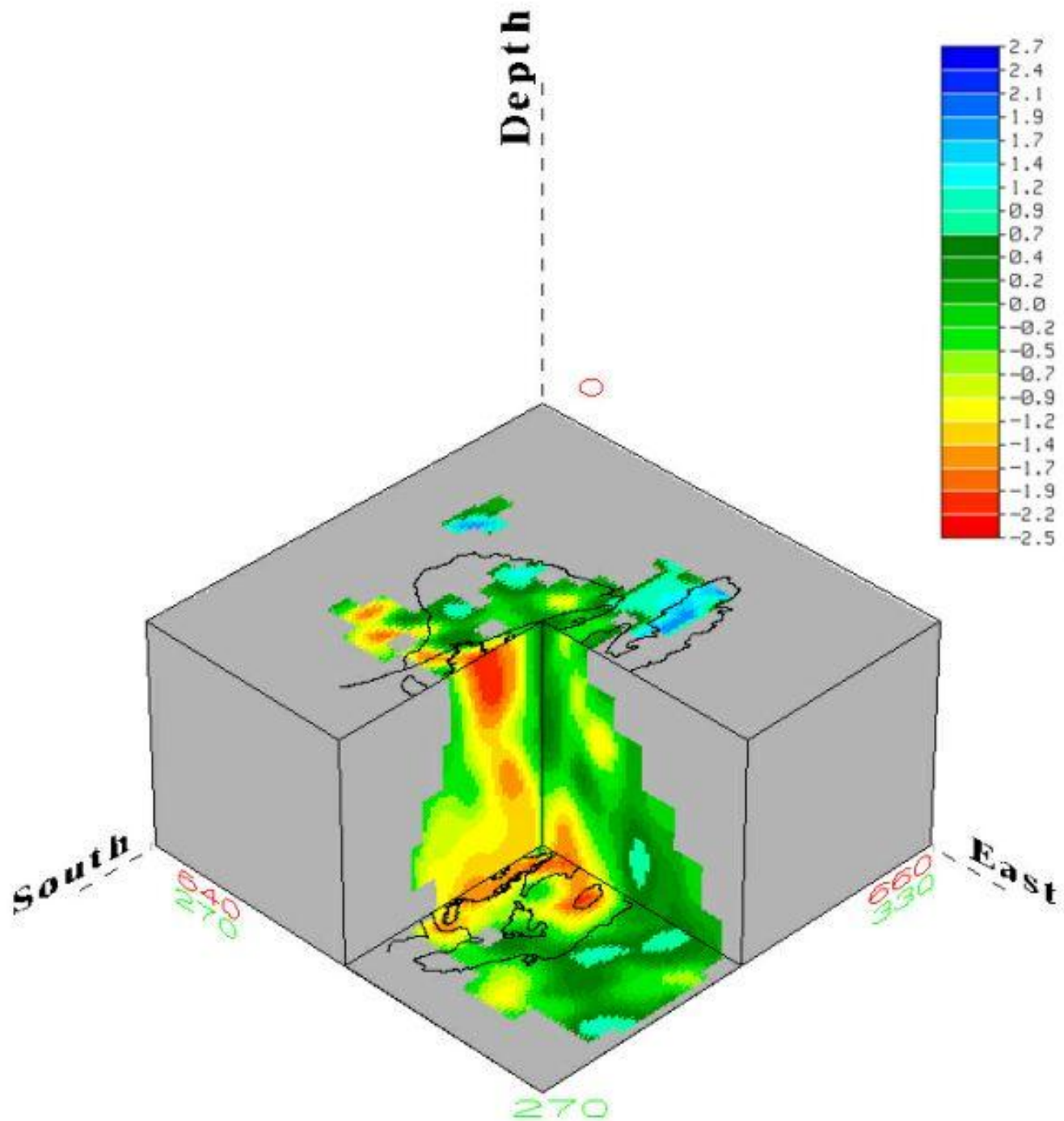
Carte et coupes tomographiques sous le Massif Central

(modifié d'après Granet et al. 1995).

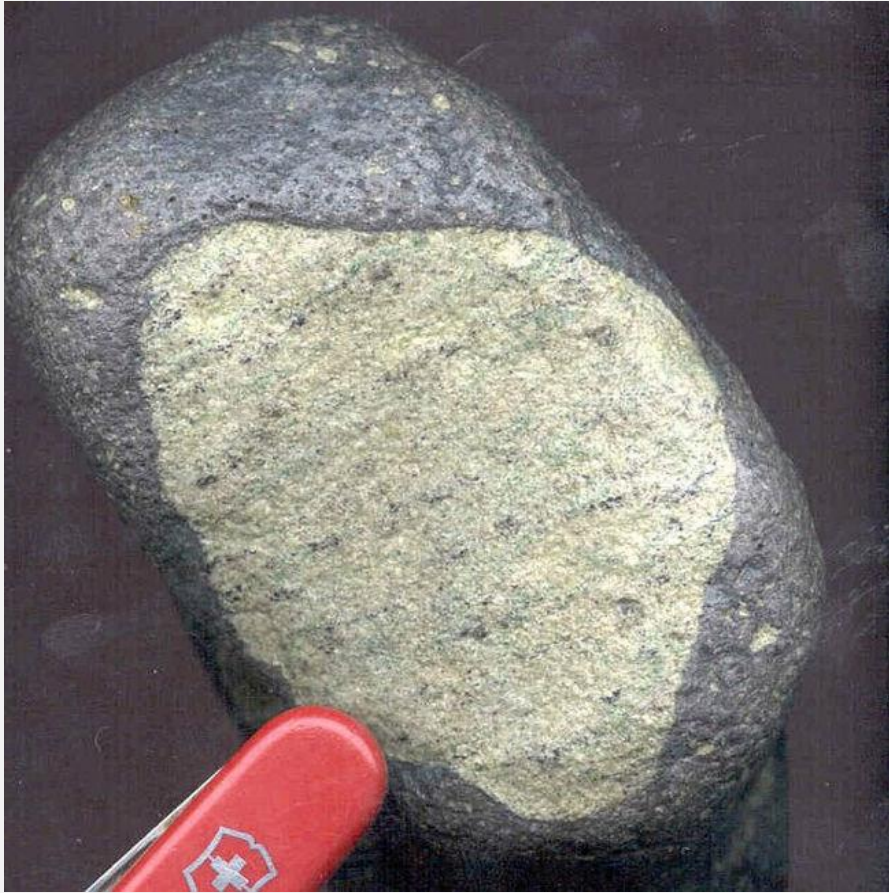
Tomographie sismique sous le Massif Central (jusqu'à 270 km de profondeur).

<http://planet-terre.ens-lyon.fr/article/massif-central.xml>

(<http://www.cnrs.fr>)



Des témoignages d'une déformation du manteau

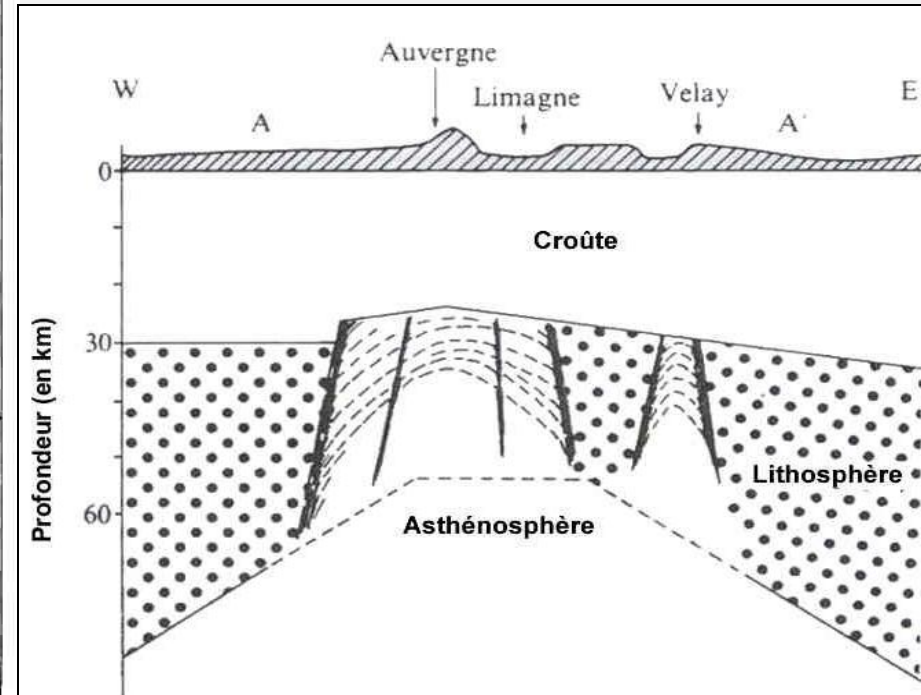
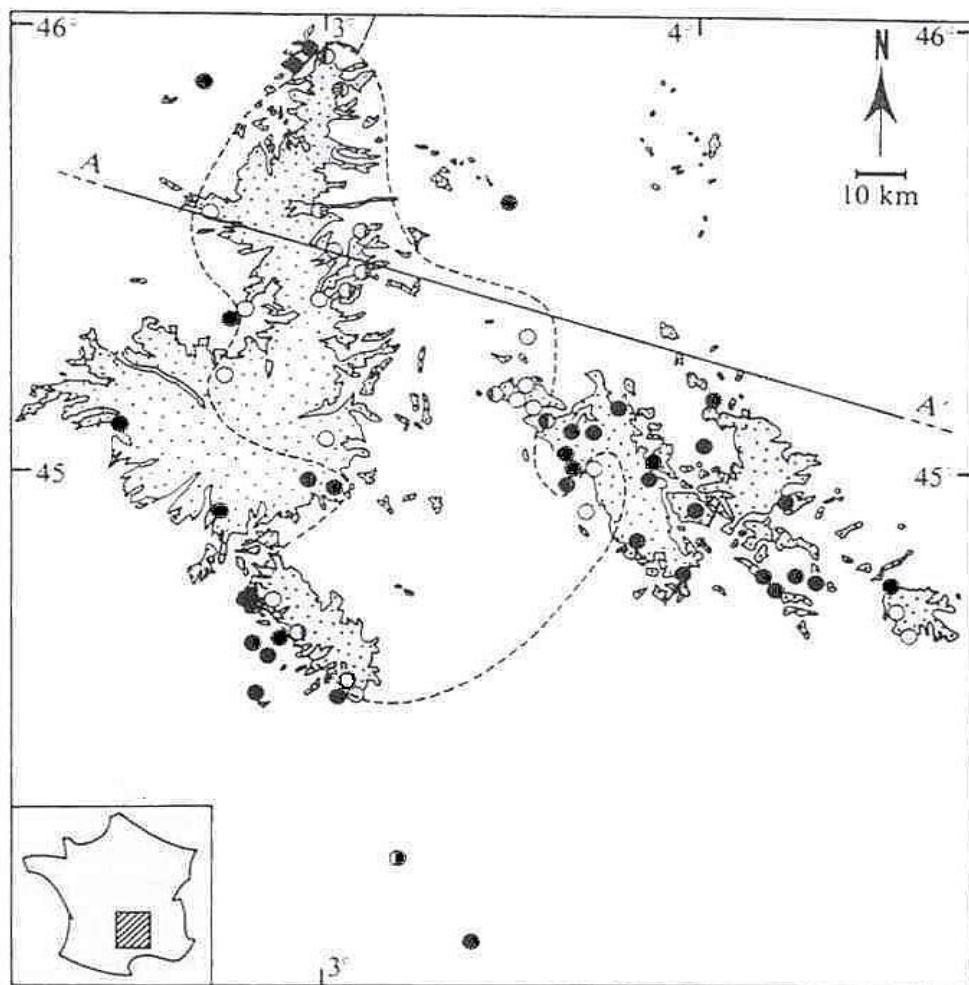


Nodule de péridotite « déformée »

Nodule « classique » de péridotite

On voit très bien (à gauche) les petits cristaux de pyroxènes noirs alignés et soulignant une foliation. L'étude des enclaves de péridotites montre que le manteau était peu déformé avant 10 millions d'années, très déformé après.

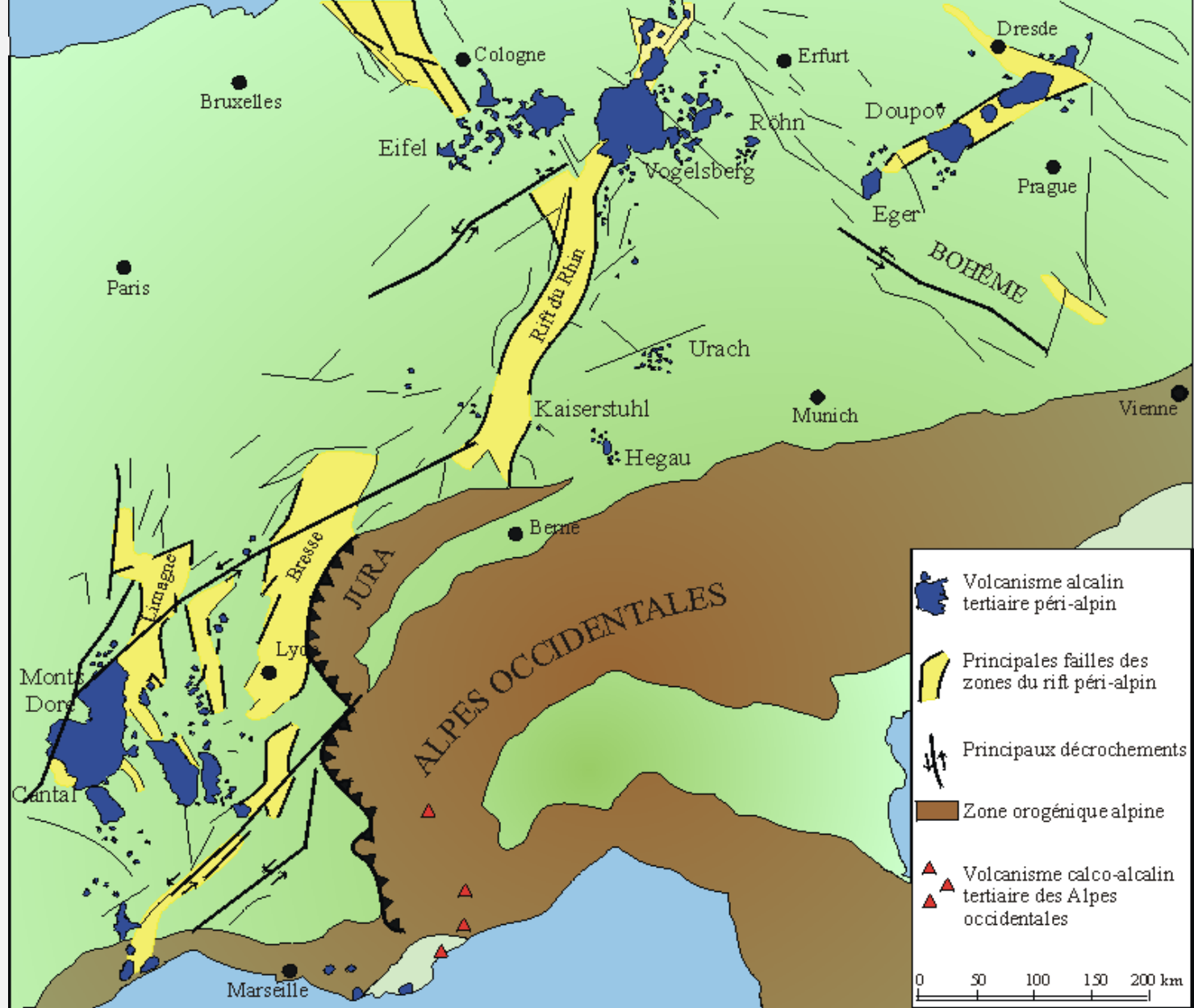
Des témoignages d'une déformation du manteau



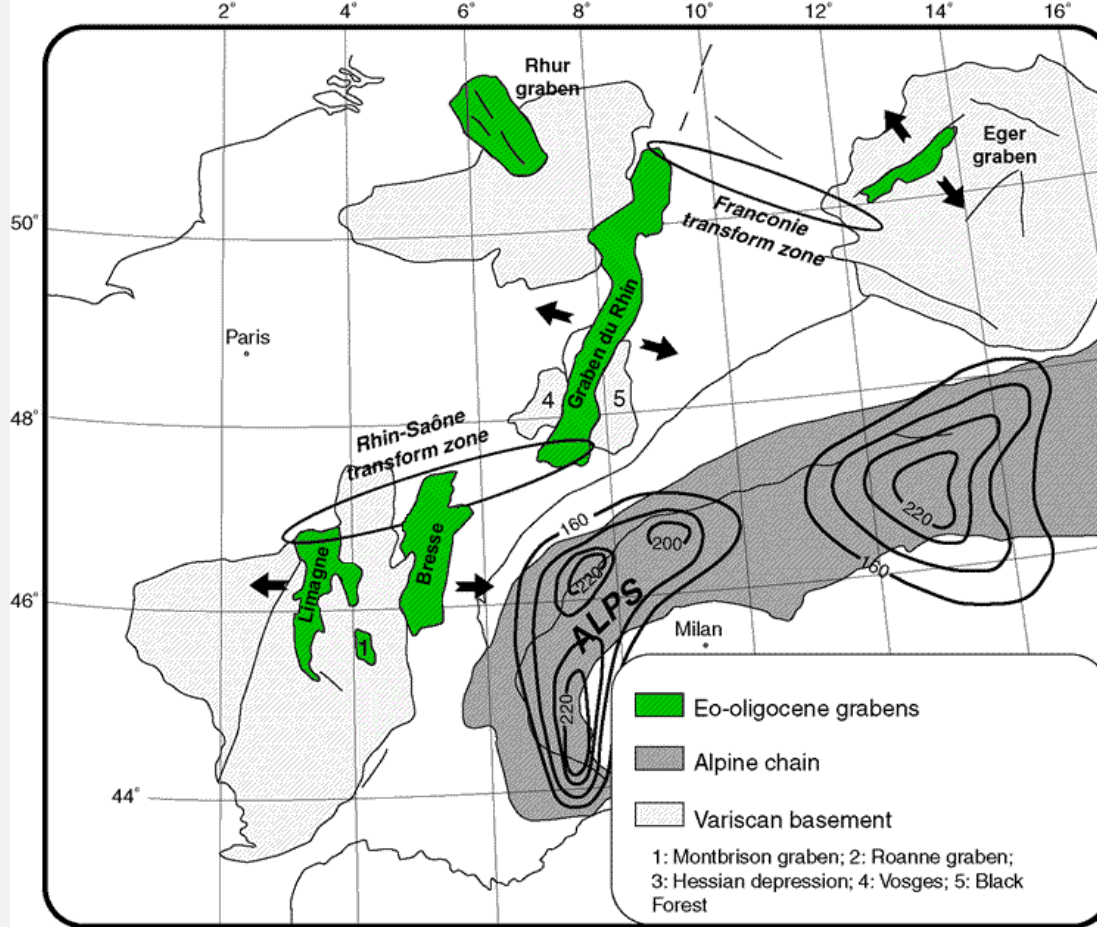
Coupe de la zone diapirique sous le Massif Central

Carte des volcans ayant remonté des péridotites déformées

- Points blancs (sur la carte) et hachures (sur la coupe) : nodules de péridotite avec intenses déformations
- - points noirs (sur la carte et la coupe) : pas de déformation



Carte des principales provinces volcaniques Cénozoïques d'Europe de l'Ouest et relation avec les bassins sédimentaires périalpins.



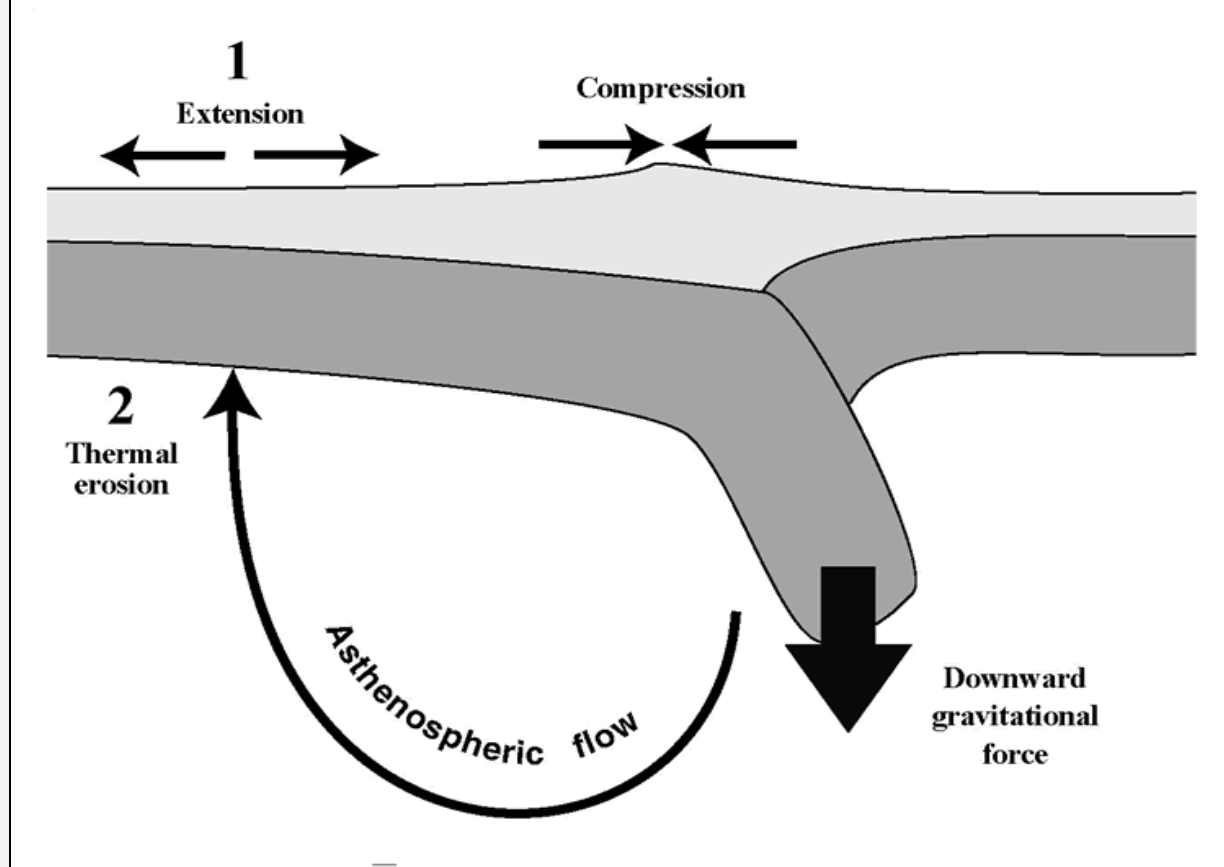
Document 12. Positionnement spatial de la chaîne alpine par rapport aux rifts ouest-européens.

La formation de la racine crustale alpine est datée de la fin de l'Oligocène.

Le chevauchement du Briançonnais sur la zone dauphinoise date du début de l'Oligocène.

Ainsi, la formation de la chaîne alpine est contemporaine de la formation des grabens et de la sédimentation dans le Massif Central.

<http://planet-terre.ens-lyon.fr/article/volcanisme-massif-central.xml>



Document 13. Représentation schématique du rôle de la racine lithosphérique dans la création d'un épisode de rifting dans la lithosphère adjacente.

La force gravitaire de la racine lithosphérique dense induit de l'extension (1) dans la lithosphère adjacente et est responsable d'un épisode de déformation de type rifting passif. L'enfoncement de la racine lithosphérique crée un flux asthénosphérique ascendant au niveau de la lithosphère adjacente : du matériel mantellique chaud vient se plaquer sous cette lithosphère, produisant une érosion thermique (2), d'où un soulèvement isostatique et une phase de volcanisme, d'une manière comparable à ce qui se passe dans le cas d'un rifting actif.