TD 1 - Le volcanisme du Massif Central

EVI 883 - Géodynamique de la France

Cyril Langlois

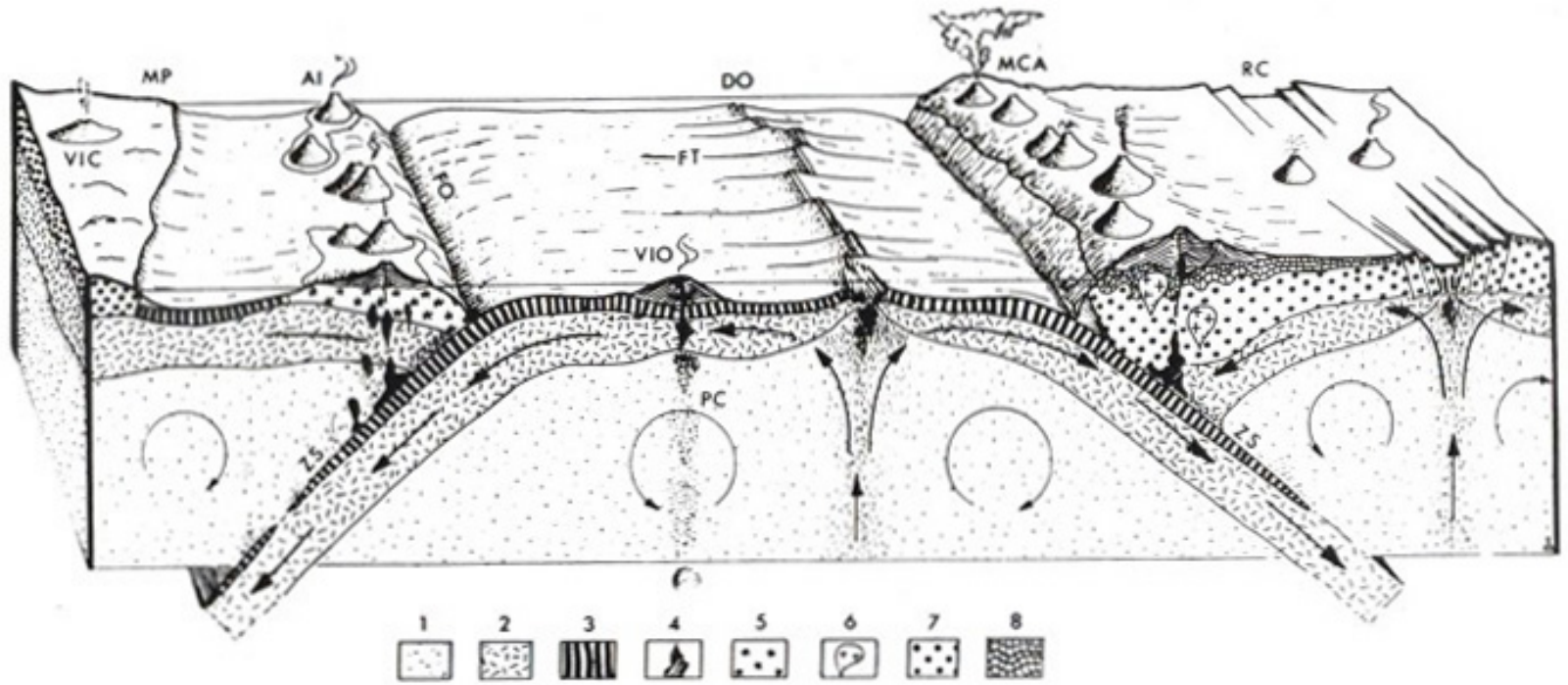
Université Bordeaux 1

26 janvier 2009

Première partie I

Rappels sur le volcanisme

Rappel : la production des magmas



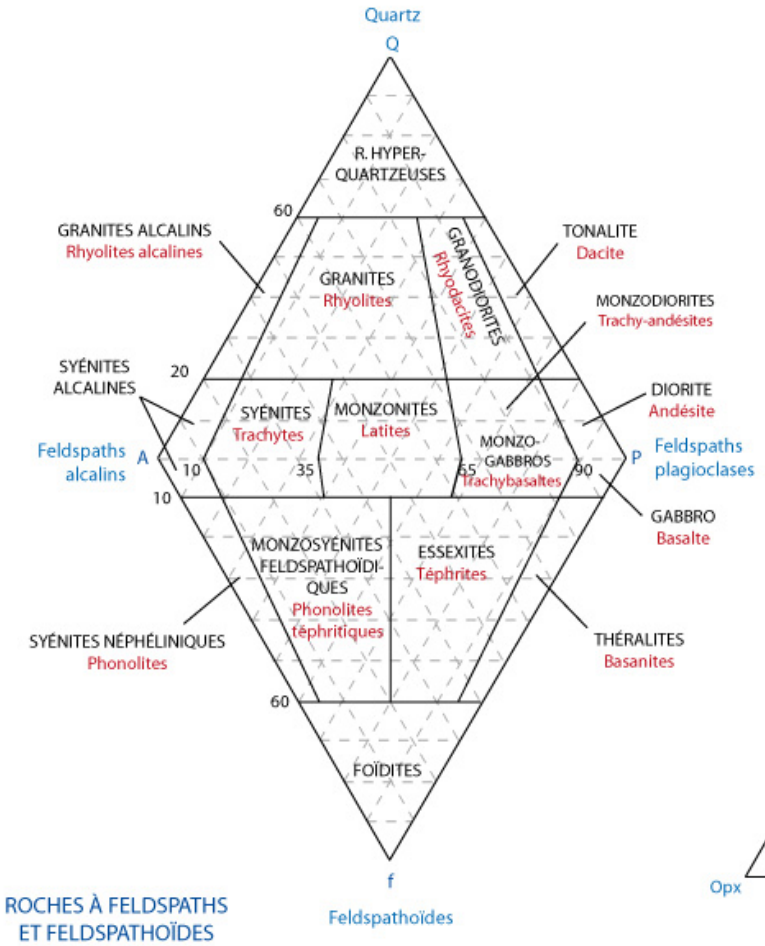
Volcanisme et tectonique des plaques. 1 : manteau asthénosphérique ; 2 : manteau supérieur lithosphérique ; 3 : croûte océanique ; 2 + 3 : lithosphère ; 4 : réservoir magmatique ; 5 : croûte intermédiaire ; 6 : pluton granitique ; 7 : croûte continentale ; 8 : couverture sédimentaire. Abbréviations : AI : arc insulaire ; DO : dorsale (ride) océanique ; FO : fosse océanique ; FT : faille transformante ; MCA : marge continentale active ; MP : marge passive ; PC : point chaud ; RC : rift continental ; VIC : volcanisme intraplaque continental ; VIO : volcanisme intraplaque océanique ; ZS : zone de subduction (plan de Wadati-Benioff).

Magmas basiques

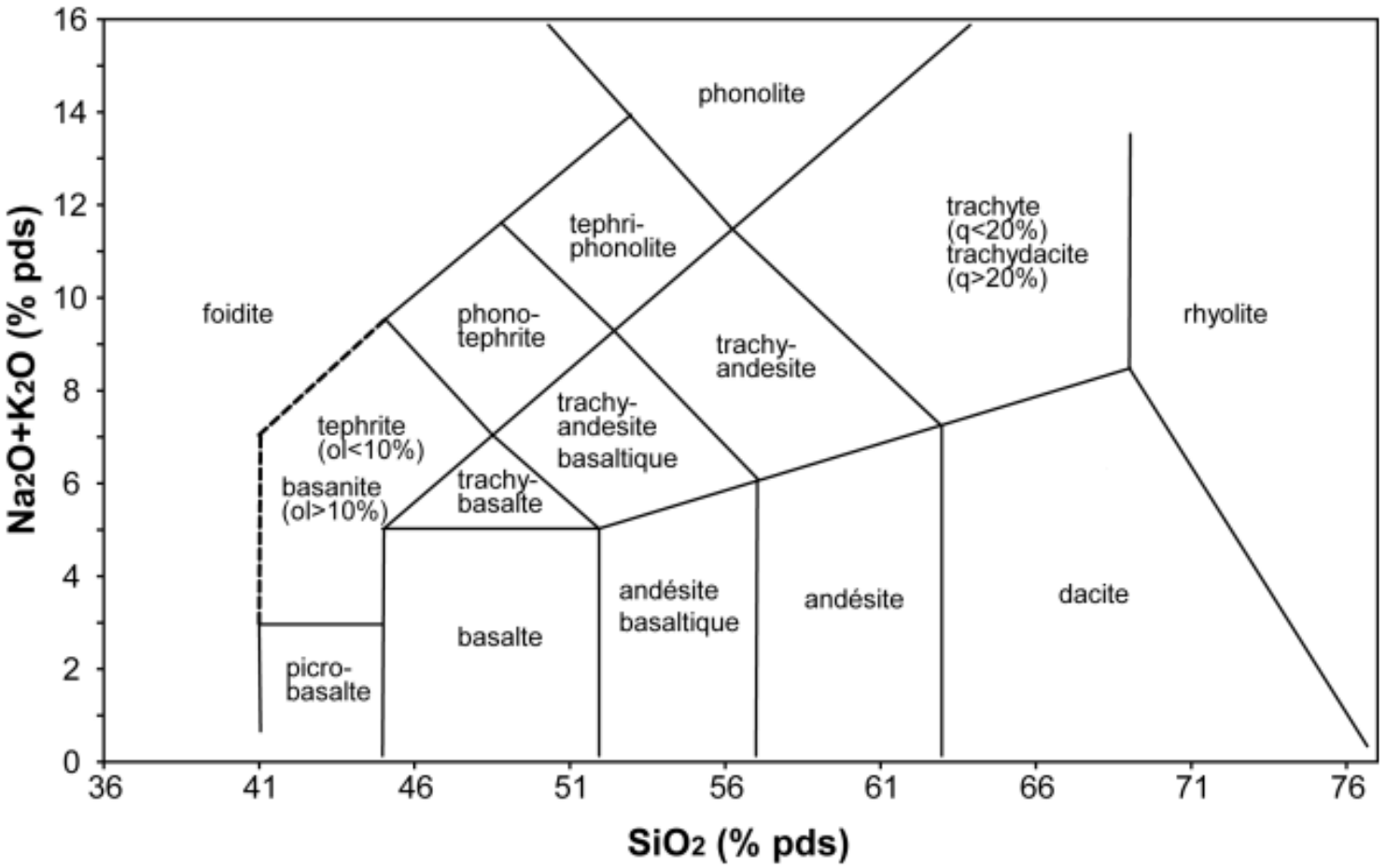
- Les magmas basiques, les plus répandus, proviennent de la fusion des roches du manteau, les péridotites.
- Cela implique que le géotherme recoupe le solidus des péridotites.
- Les zones de production de magmas sont directement liées à la tectonique des plaques et à la possibilité d'intersection géotherme-solidus.
  - Dorsales ;
  - Points chauds ;
  - Zones de subduction.
- Dans chaque site, les magmas auront des caractéristiques chimiques et dynamiques particulières.

Classification des roches magmatiques

Classification de Streckeisen et triangle des roches mafiques.



Classification des roches magmatiques



Classification par un diagramme Alcalins - Silice (Le Bas *et al.*, 1986)

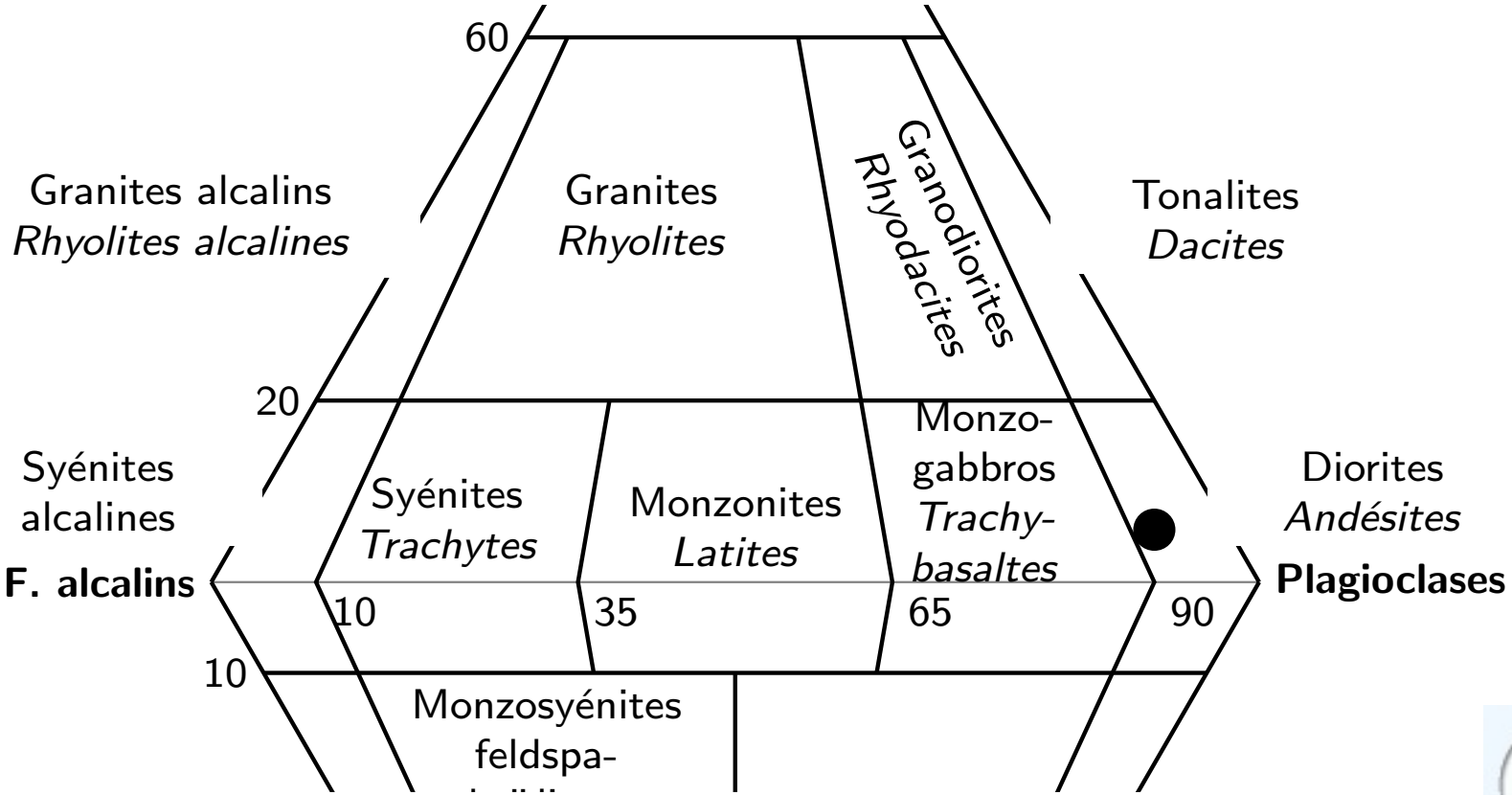
Magmas primaires et évolution

Les magmas primaires sont des magmas « basiques », à teneur légèrement variable en SiO_2. Les premières roches produites peuvent donc présenter quelques variations entre :

- Des basaltes alcalins (à olivine), pour les plus pauvres en silice ;
- Des basaltes « saturés » (sous-entendu, en silice) pour les magmas un peu plus siliceux.

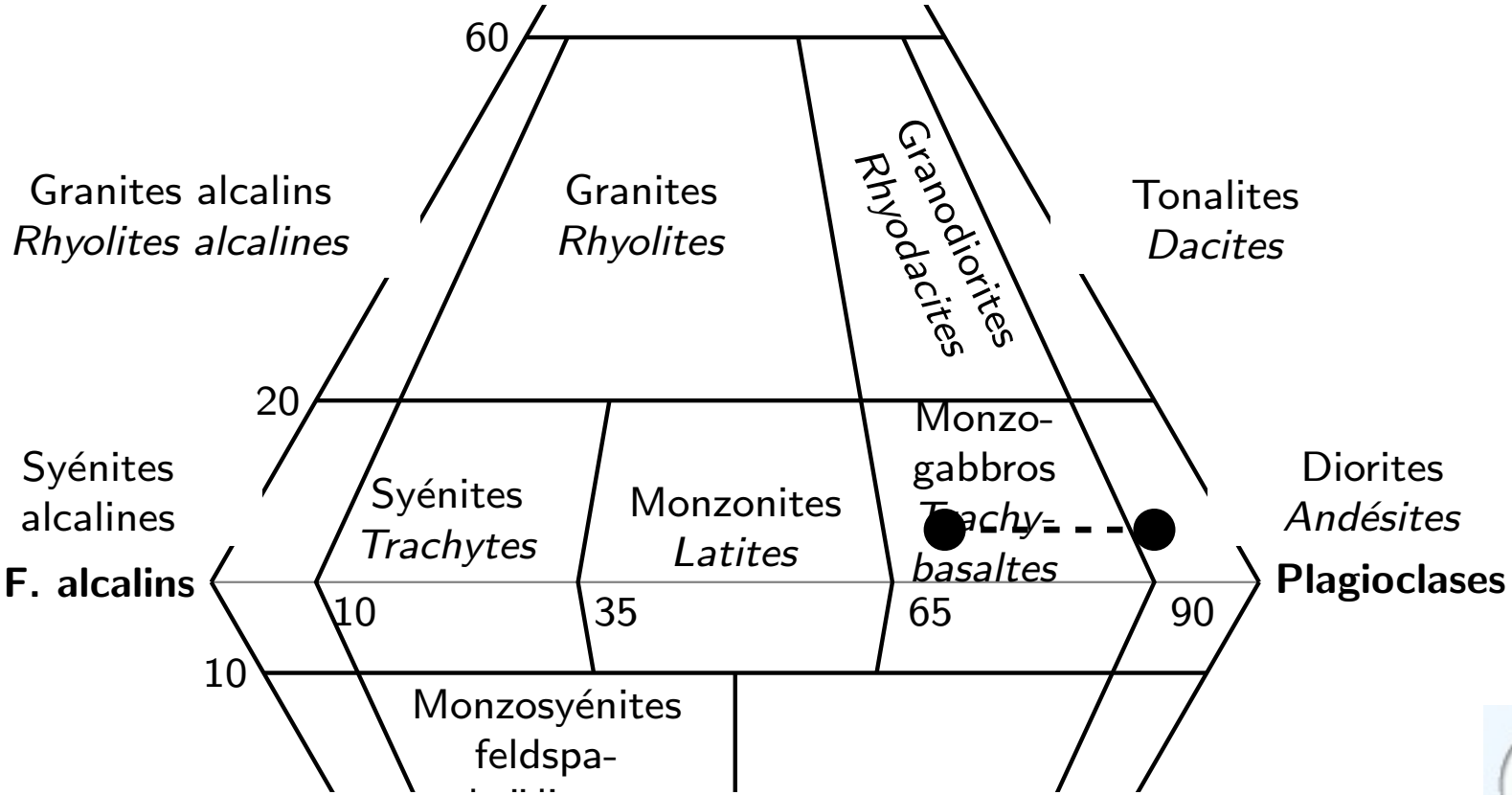
Évolutions dans le diagramme de Streckeisen

1er cas : série saturée : basaltes → trachytes ou rhyolites



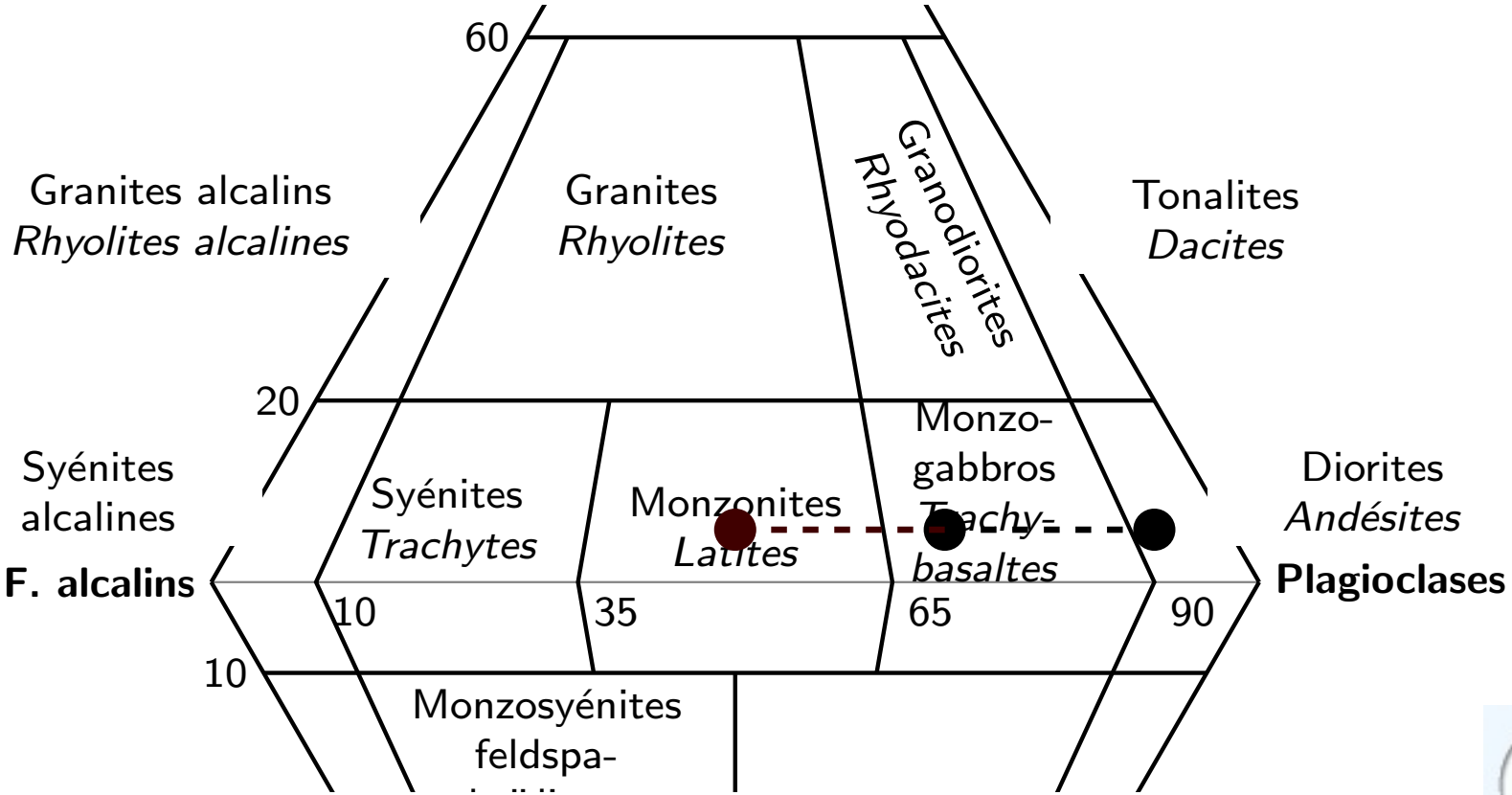
Évolutions dans le diagramme de Streckeisen

1er cas : série saturée : basaltes → trachytes ou rhyolites



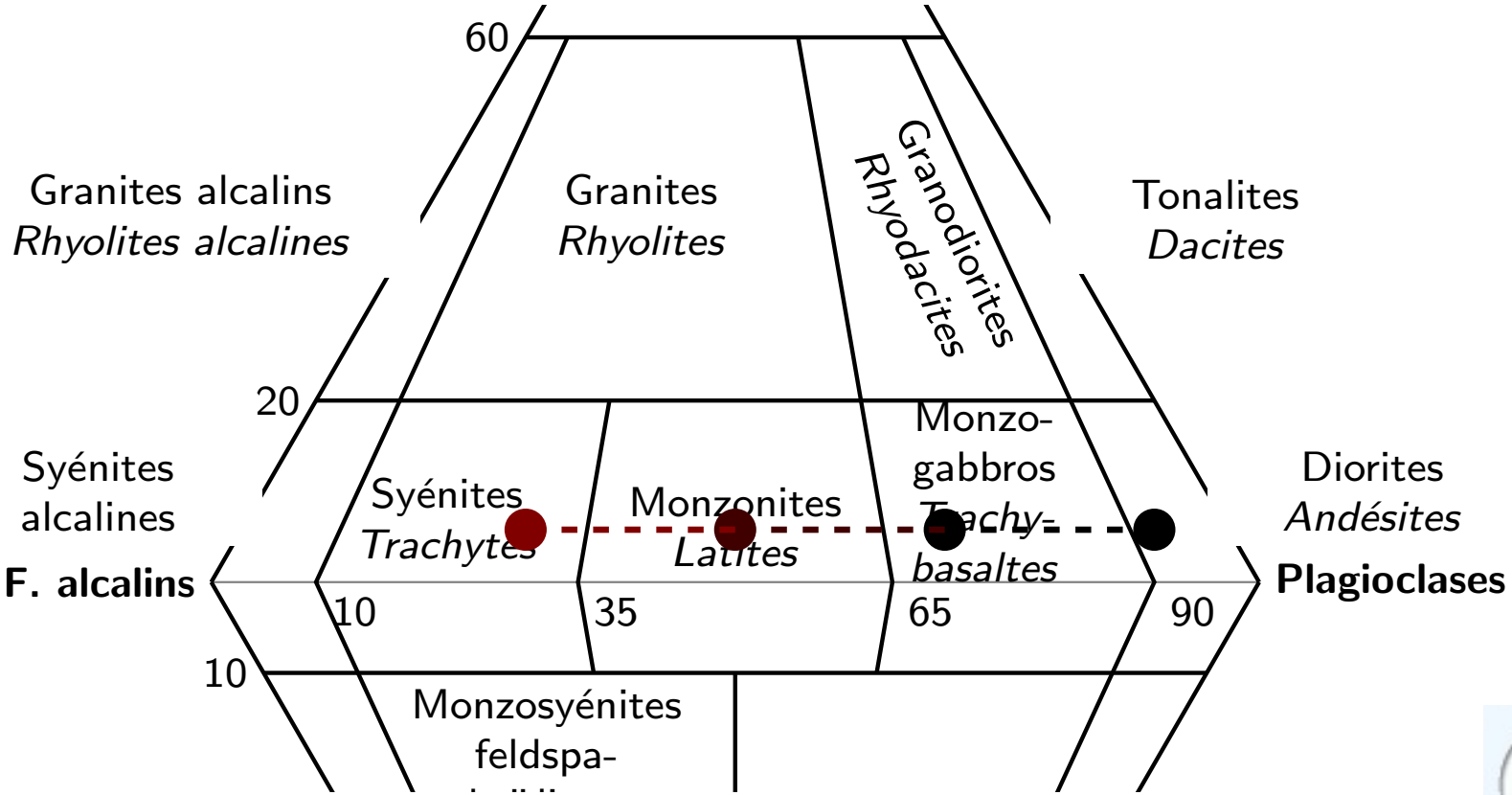
Évolutions dans le diagramme de Streckeisen

1er cas : série saturée : basaltes → trachytes ou rhyolites



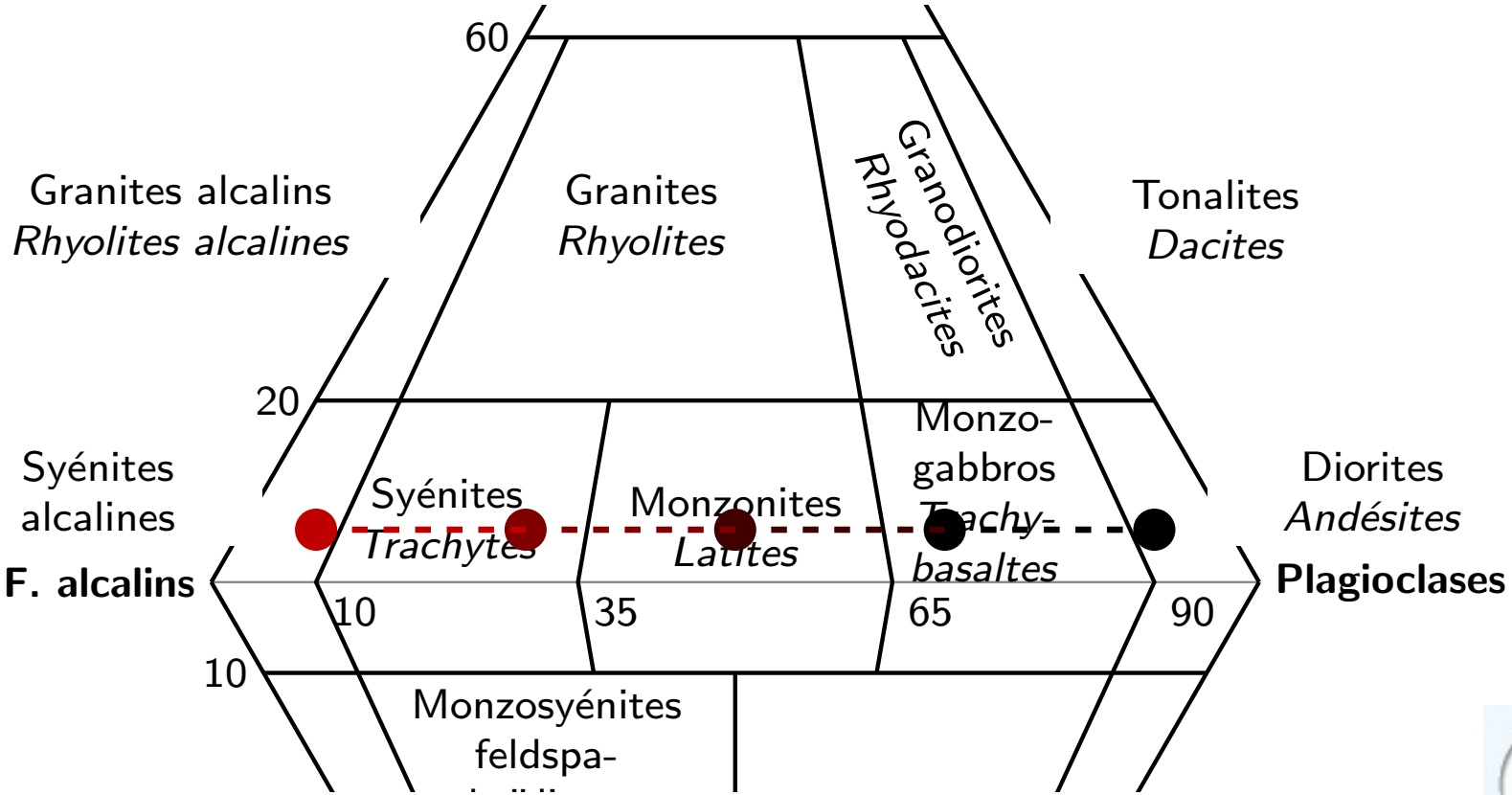
Évolutions dans le diagramme de Streckeisen

1er cas : série saturée : basaltes → trachytes ou rhyolites



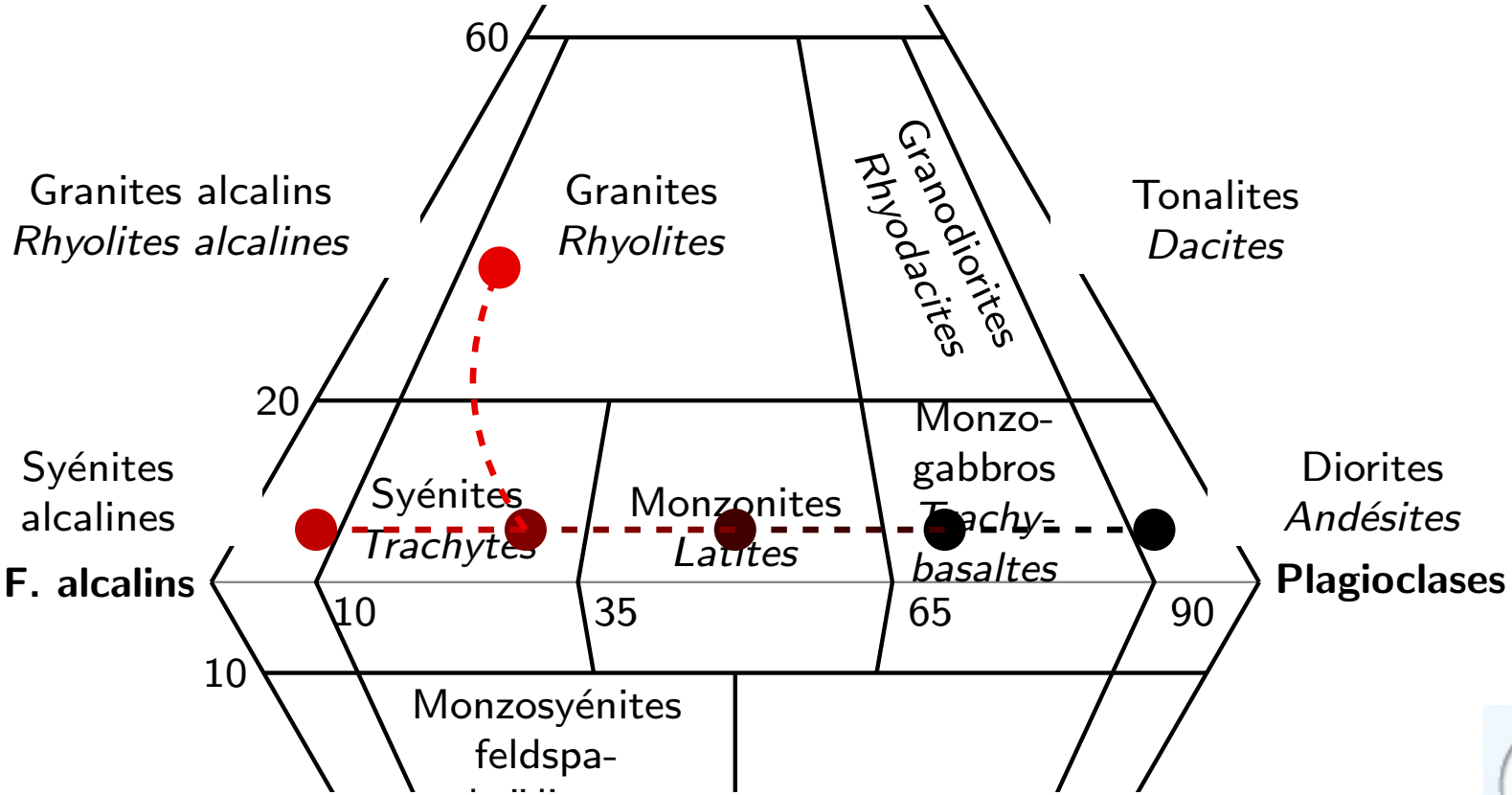
Évolutions dans le diagramme de Streckeisen

1er cas : série saturée : basaltes → trachytes ou rhyolites



Évolutions dans le diagramme de Streckeisen

1er cas : série saturée : basaltes → trachytes ou rhyolites



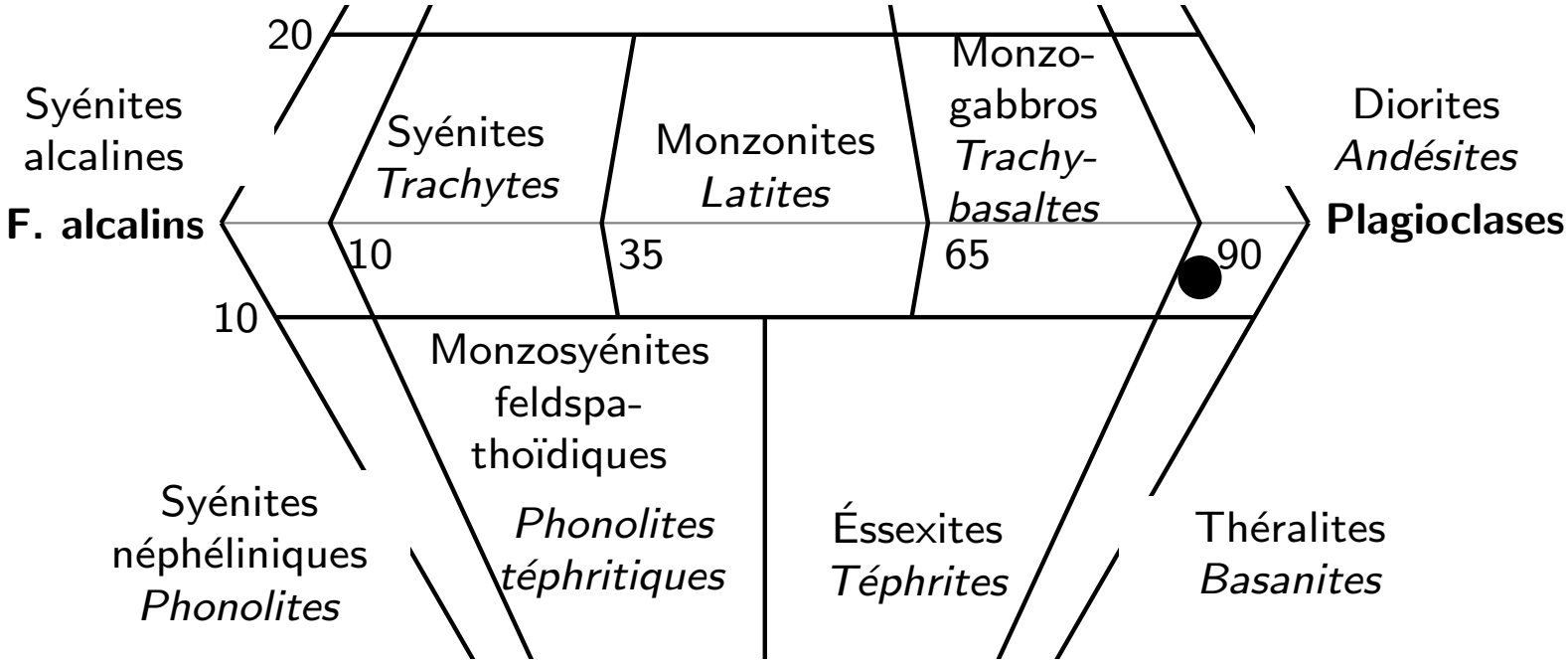
Évolutions dans le diagramme de Streckeisen

La divergence des évolutions trachytes $\rightarrow$ trachytes alcalines ou trachytes $\rightarrow$ rhyolites est liée, en particulier, à la cristallisation d'amphiboles lors de la cristallisation fractionnée :

- l'apparition d'amphibole, minéral relativement pauvre en silice, entraîne l'enrichissement du liquide en SiO_2 ;
- Mais l'amphibole est un minéral relativement hydraté : elle apparaît dans des magmas riches en eau, ou à la suite d'un apport d'eau au magma.

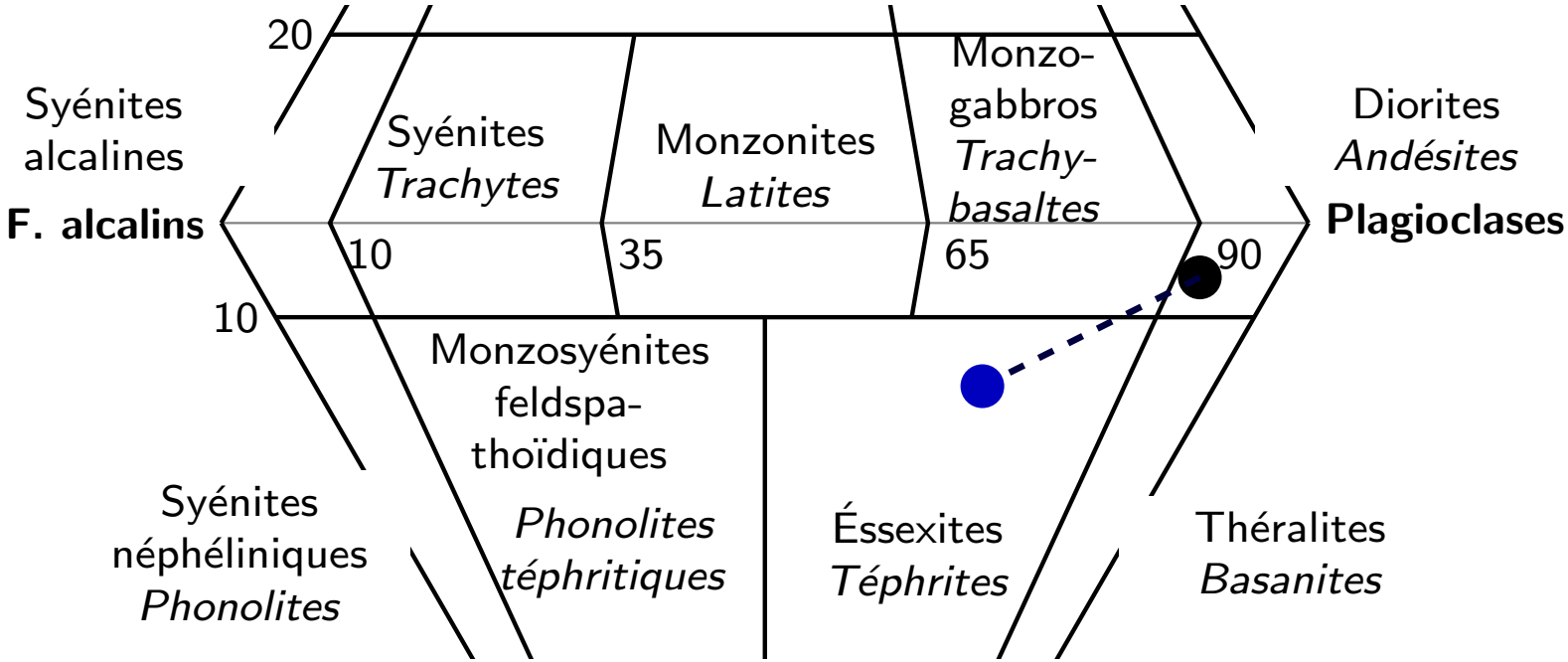
Évolutions dans le diagramme de Streckeisen

2e cas : série sous-saturée : basaltes alcalins → téphrites → phonolites



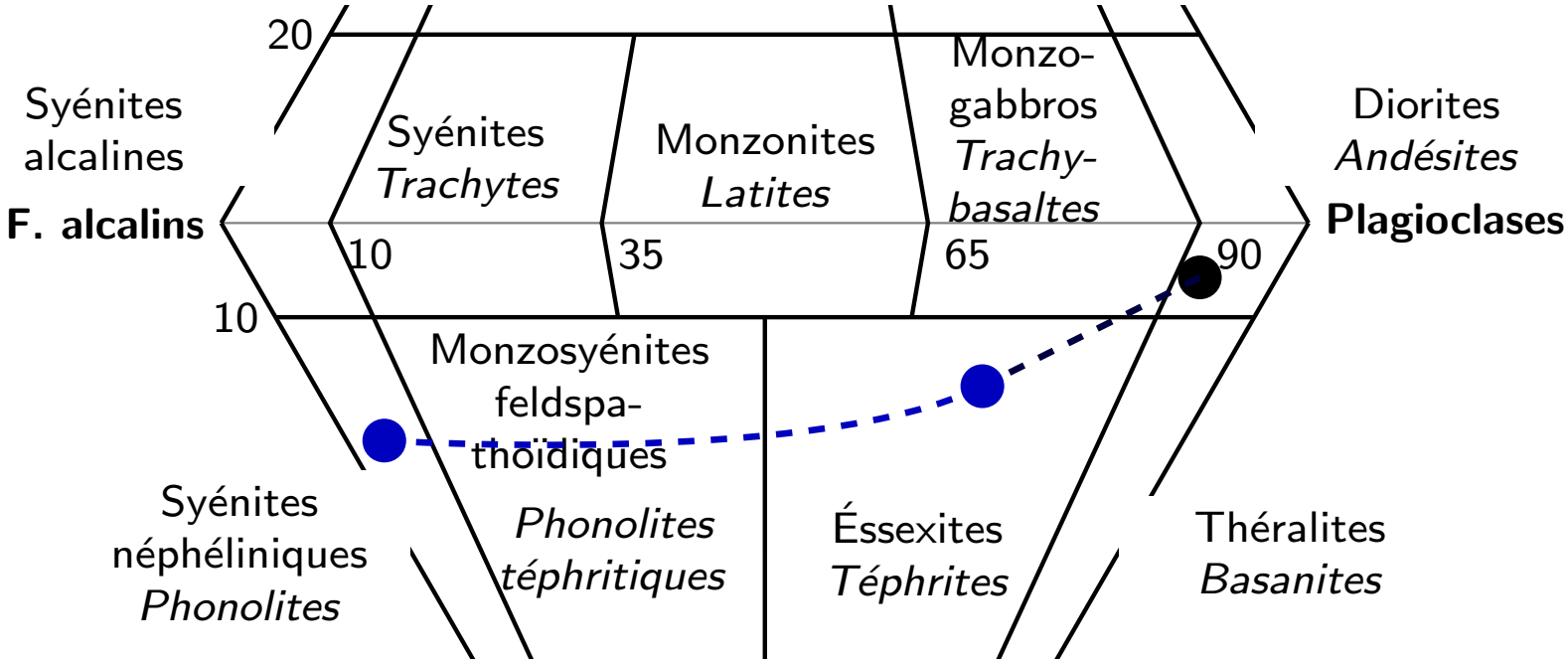
Évolutions dans le diagramme de Streckeisen

2e cas : série sous-saturée : basaltes alcalins → téphrites → phonolites



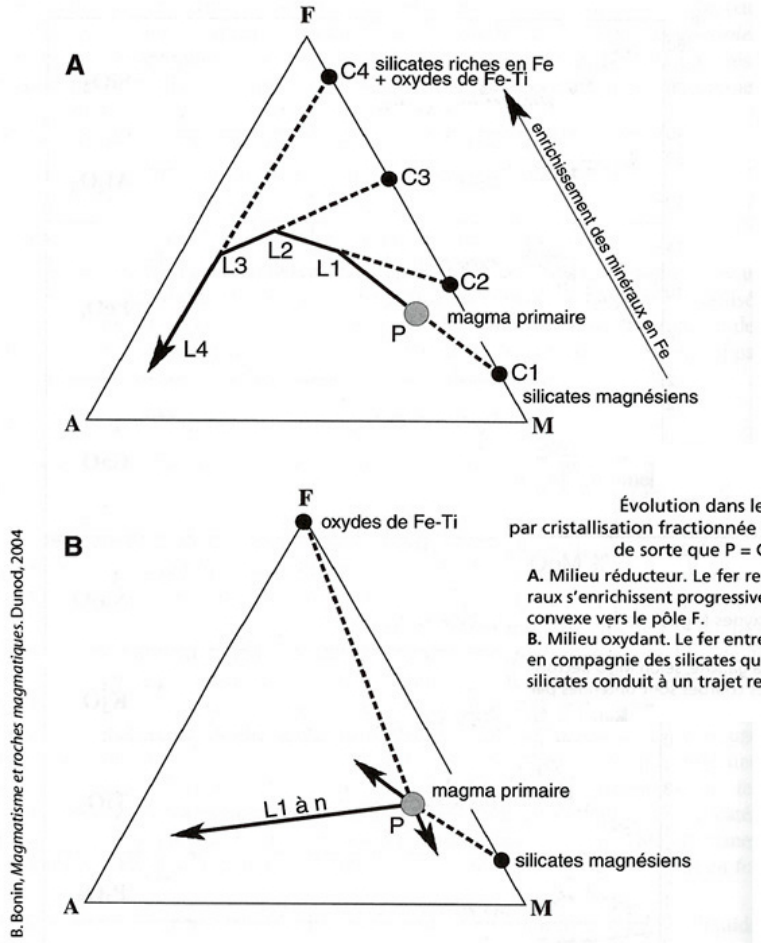
Évolutions dans le diagramme de Streckeisen

2e cas : série sous-saturée : basaltes alcalins → téphrites → phonolites



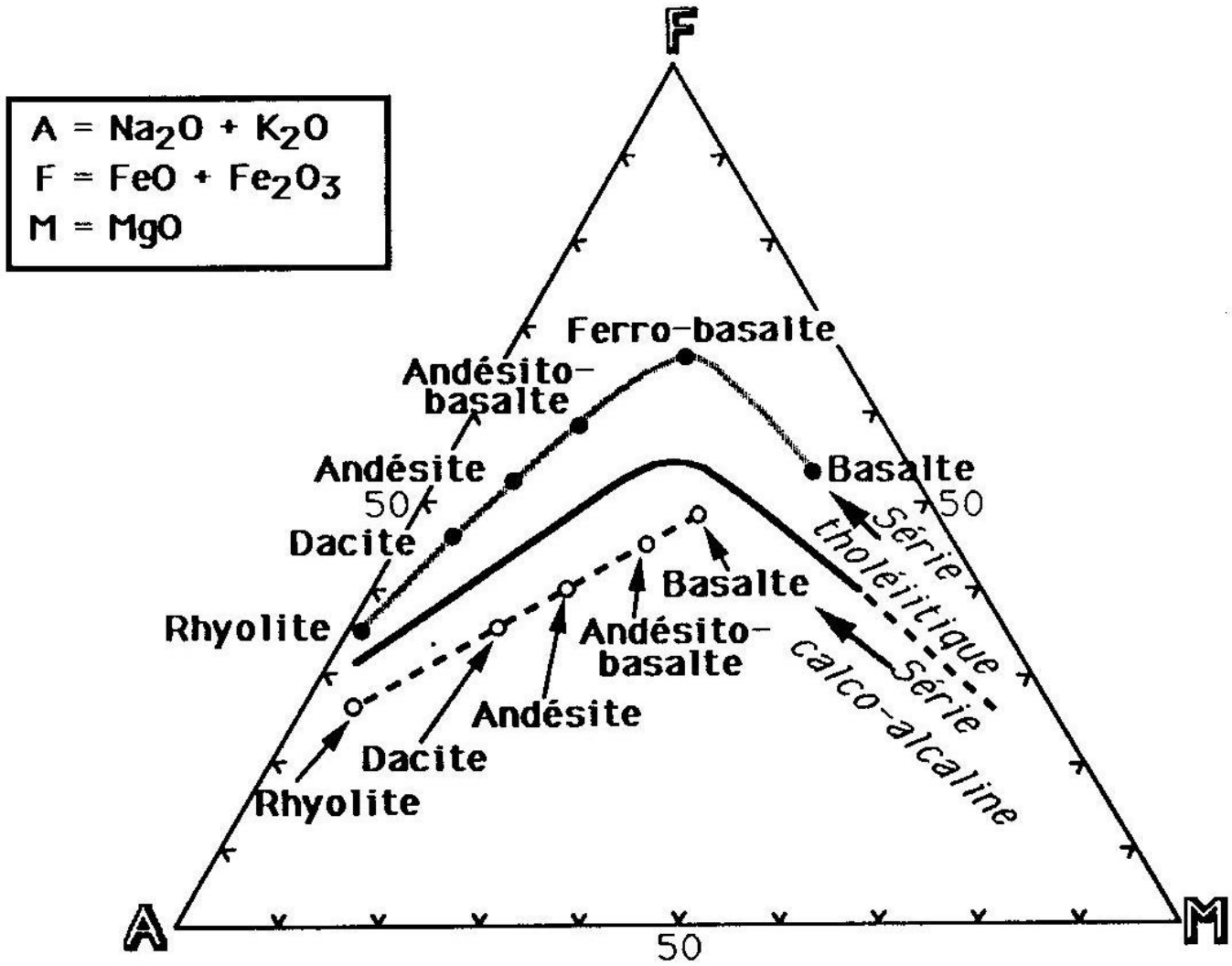
Cristallisation fractionnée et évolution des magmas

Évolution des magmas par cristallisation fractionnée dans le diagramme AFM.
A =($Na_2O + K_2O$), F = ($FeO + Fe_2O_3$), M = MgO.
Deux situations sont représentées :
cristallisation en milieu réducteur (fer $\Leftrightarrow Fe^{2+}$) ou oxydant (Fe^{3+}).

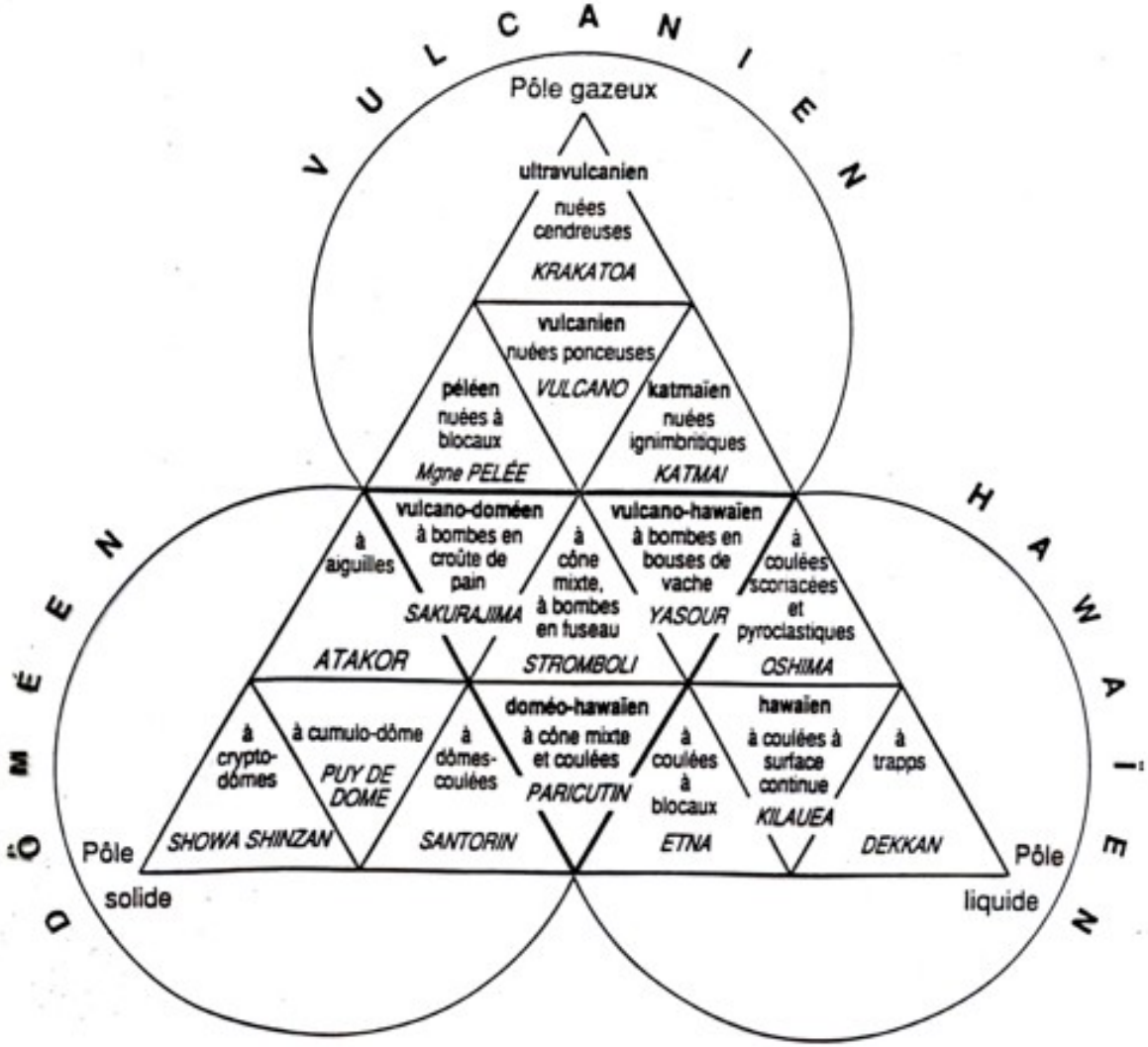


Évolution dans le diagramme AFM d'un magma primaire P donnant par cristallisation fractionnée des liquides résiduels L1 à Ln et des cumulats C1 à Cn, de sorte que P = C1 + L1, L1 = C2 + L2,.., Ln – 1 = Cn + Ln,...
A. Milieu réducteur. Le fer restant à l'état ferreux dissous dans le liquide, les minéraux s'enrichissent progressivement en fer. La série magmatique dessine une courbe convexe vers le pôle F.
B. Milieu oxydant. Le fer entre dans les oxydes de Fe-Ti qui cristallisent précocement, en compagnie des silicates qui restent magnésiens. La soustraction des oxydes et des silicates conduit à un trajet rectiligne des liquides vers le pôle A.

Cristallisation fractionnée et évolution des magmas



Classification des types éruptifs



Deuxième partie II

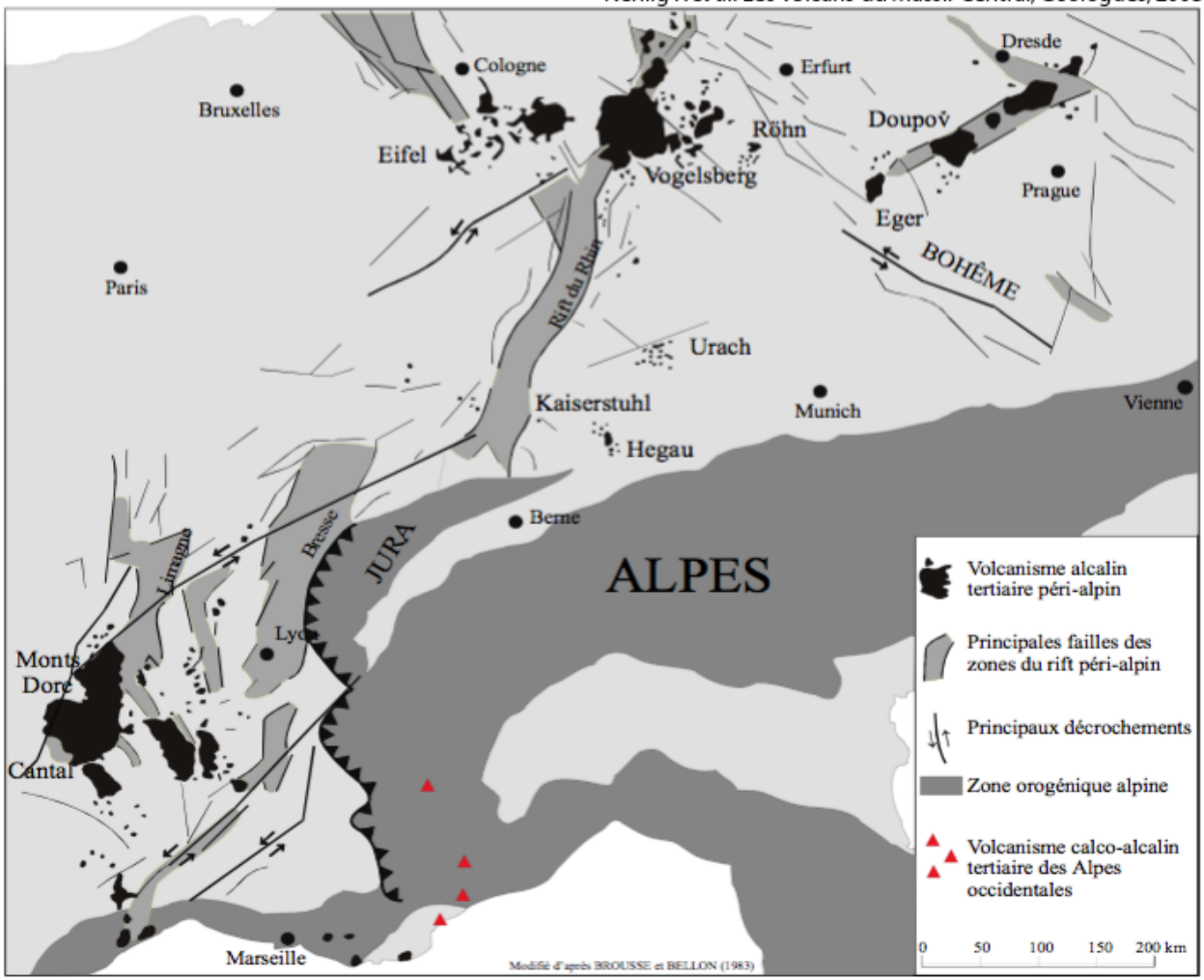
Les strato-volcans du Massif Central

Contexte général

- Comme les autres centres volcaniques d'Europe de l'ouest, le volcanisme du Massif Central est localisé dans une zone surélevée associée à des grabens sédimentaires.
- Les grabens de la Limagne, de la Bresse, du Rhin, de la Ruhr et de l'Eiger se sont formés au début du Cénozoïque pendant l'orogenèse alpine et l'affaissement des bassins méditerranéens et pannoniens.

Contexte général

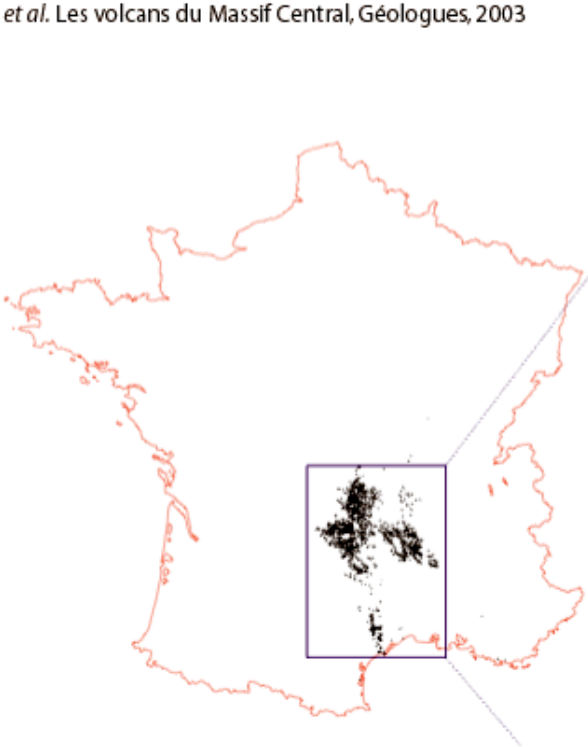
Nehlig P. *et al.* Les volcans du Massif Central, Géologues, 2003

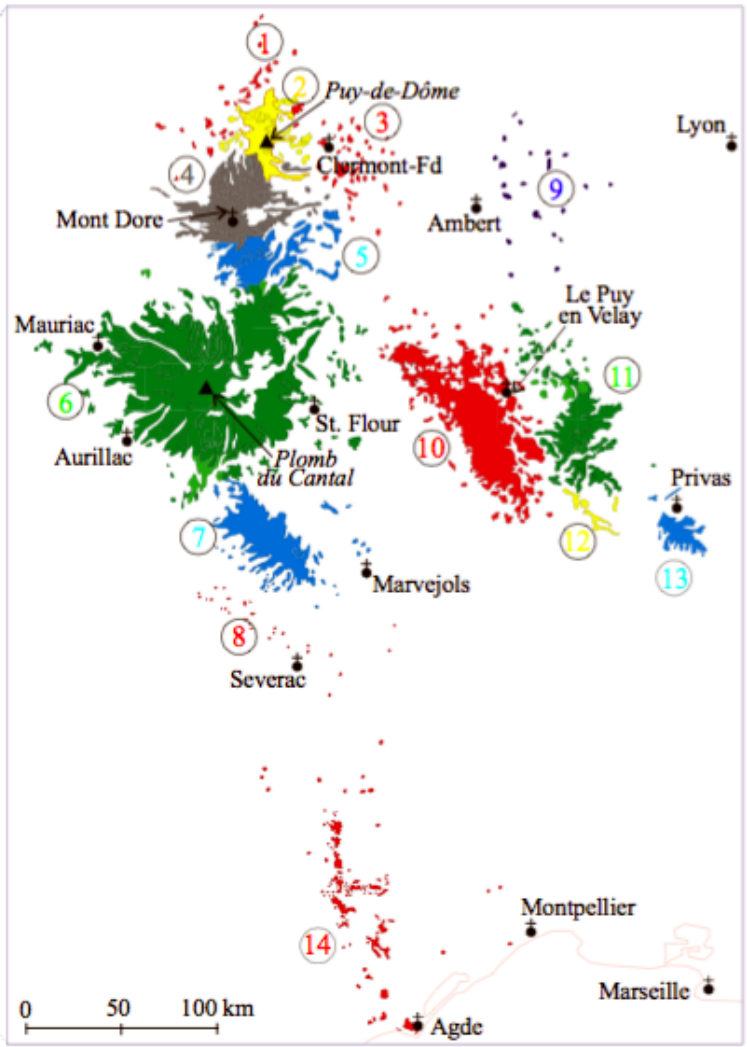


Carte des principales provinces volcaniques Cénozoïques d'Europe de l'Ouest et relation avec les bassins sédimentaires périaplins.

Grandes provinces volcaniques

Nehlig P. *et al.* Les volcans du Massif Central, Géologues, 2003





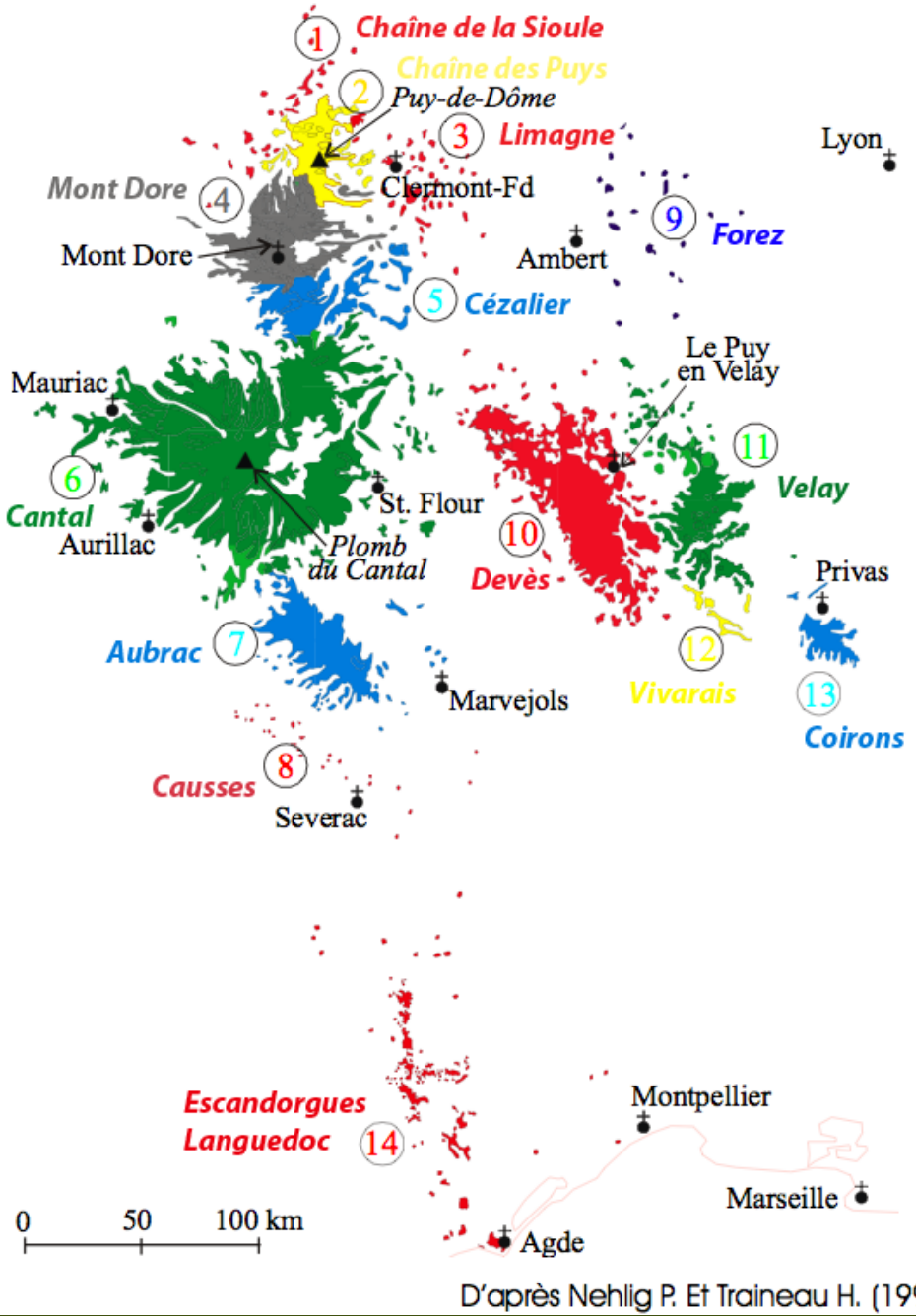
Principales provinces et ages du volcanisme alcalin du Massif Central Français (Ma: millions d'années)

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)

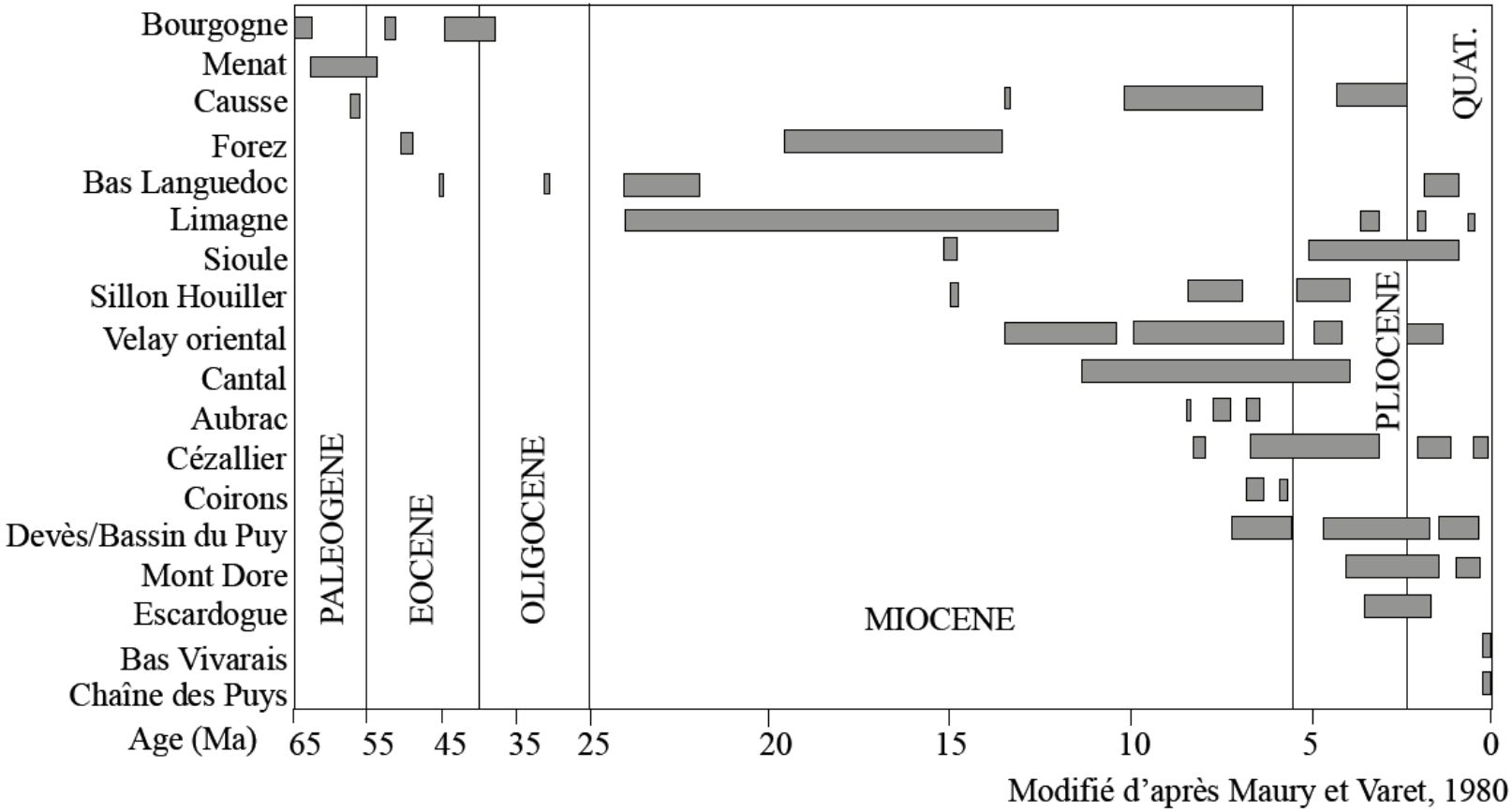
D'après Nehlig P. Et Traineau H. (1998)

Grandes provinces volcaniques

- Au Nord, alignements N-S ;
- Au Sud, alignements plutôt NO-SE ;
- Héritage d'une structure plus ancienne (varisque) ?

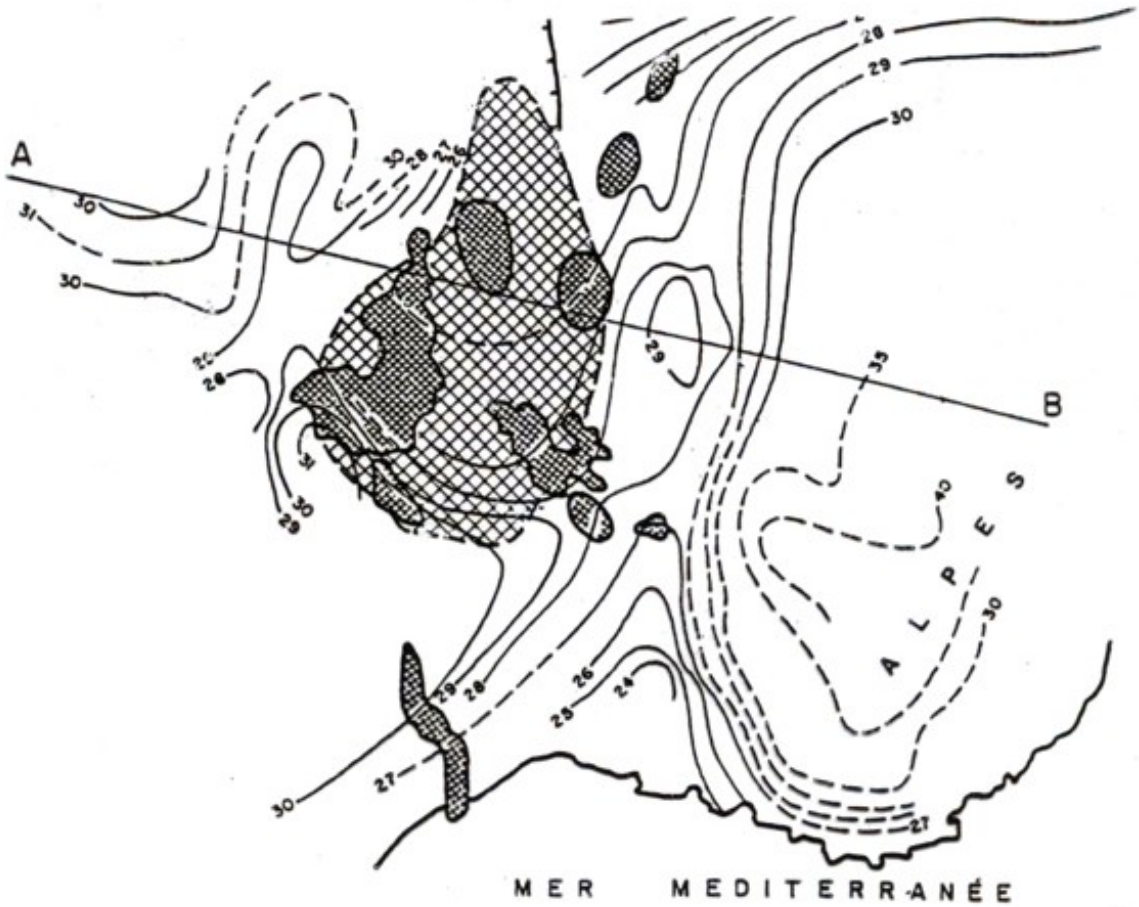


Les âges du volcanisme centralien



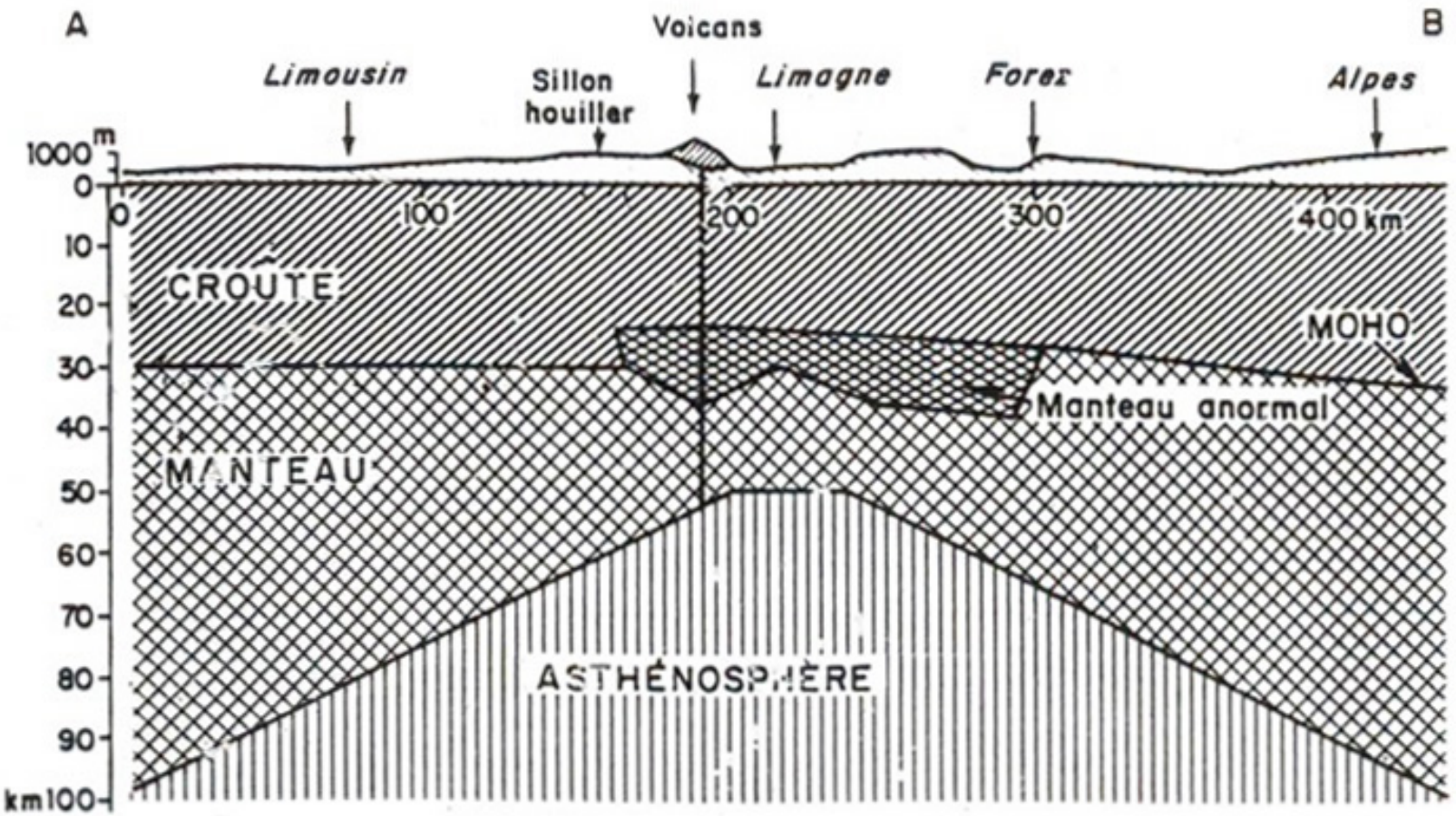
Les données de sismique réfraction

Isobathes du Moho sous le Massif Central.



Zone (en croisillons lâches) du hot spot sous les principales zones volcaniques du Massif central (croisillons serrés). Les courbes sont celles des isobathes (km) de la discontinuité de Mohorovicic. Le trait de coupe A-B est le tracé de la coupe en fig. 3 (d'après A. Hirn, 1980).

Les données de sismique réfraction



Coupe sismique sous le Massif Central.

Données gravimétriques et thermiques

Anomalie gravimétrique

- Anomalie gravimétrique sous le Massif Central $\approx$ -70 mgal[1] ;
- Interprété comme liée à la présence d'un corps peu dense en profondeur, vers 50 km ;

Anomalie thermique

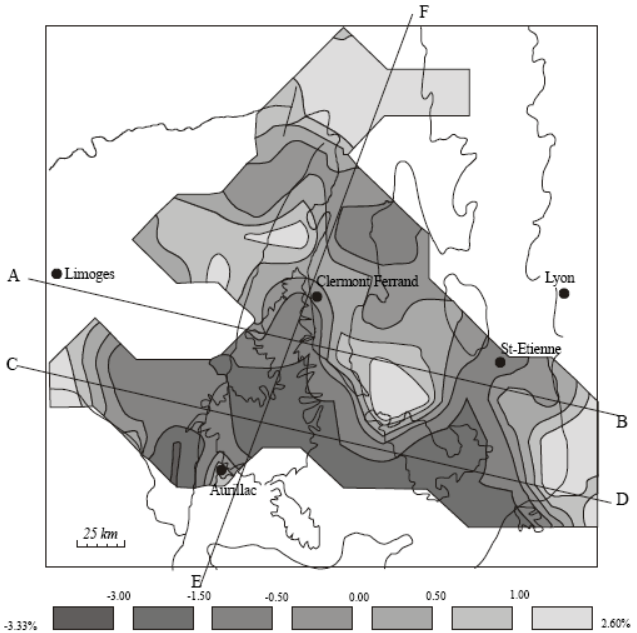
- Flux de chaleur anormal : 105 $mW.m^{-2}$;
- Soit, en enlevant la contribution crustale, une contribution mantellique de 60-70 $mW.m^{-2}$ sous la région la plus amincie, de 35 $mW.m^{-2}$ en bordure.

1. 1 gal = 0,01 $m.s^{-2}$, 1 mgal = 0,01 $mm.s^{-2}$

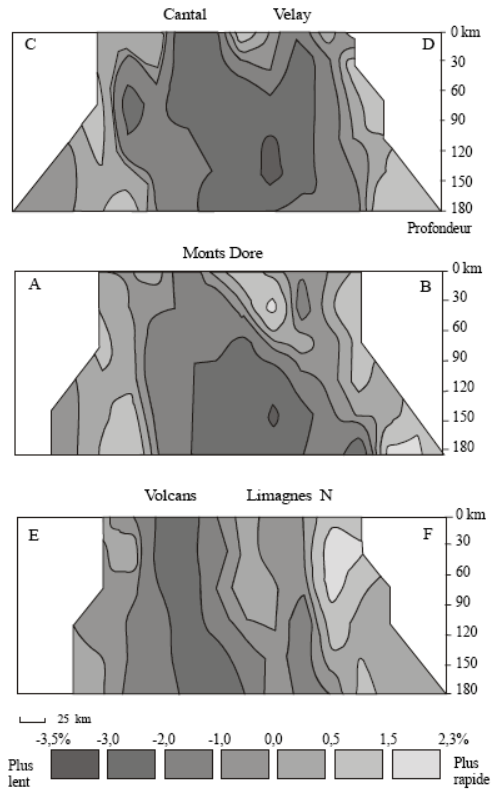
Un diapir mantellique ?

La *tomographie sismique* montre deux zones de faible vitesse sismique sous le Cantal et le Velay, entre 0 et 180 km de profondeur [1].

- Une sous le Cantal, atteignant la surface ;
- Une sous le Devès, bloquée dans la croûte ;
- Interprétation : zones de remontées de magma le long de fractures lithosphériques varisques, réactivées à l'oligocène.

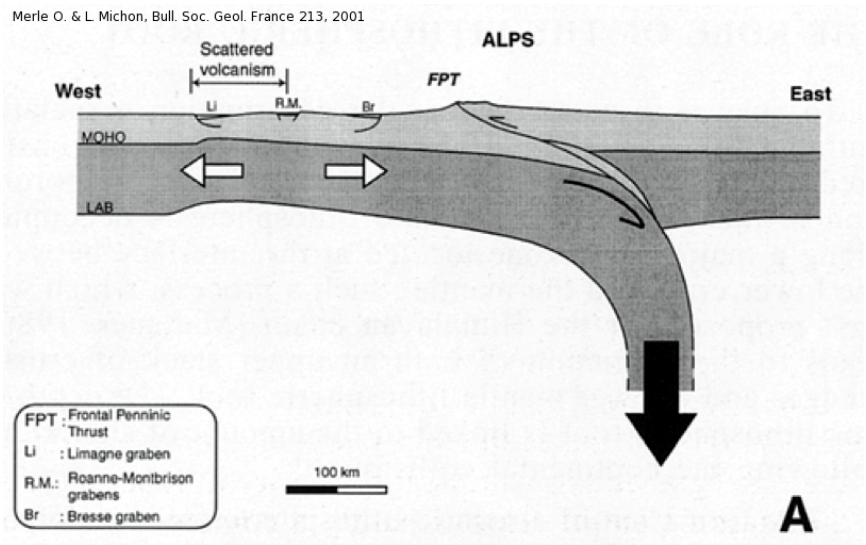


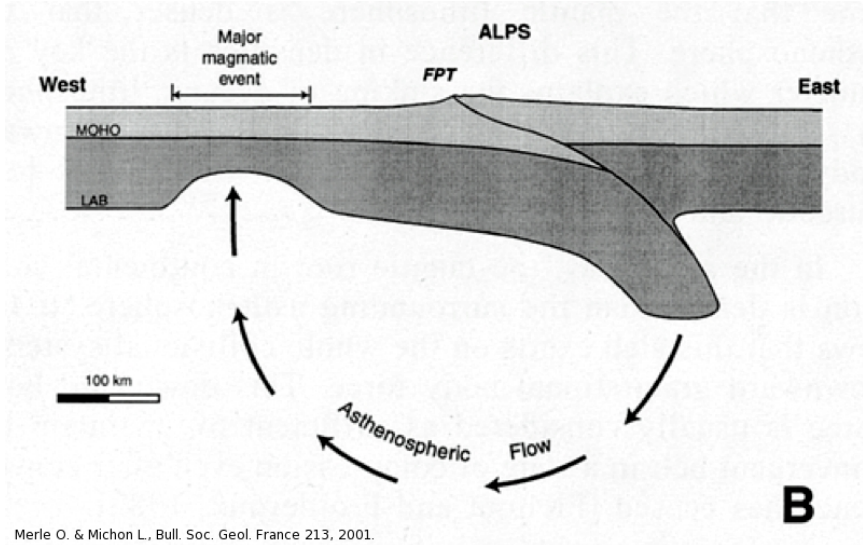
D'après Granet, Stroll, Dorel, Poupinet et Achauer, 1992.



Un diapir mantellique ?

Le volcanisme du Massif Central ne peut cependant pas être interprété comme le résultat d'un panache mantellique profond de type ≪ point chaud ≫.



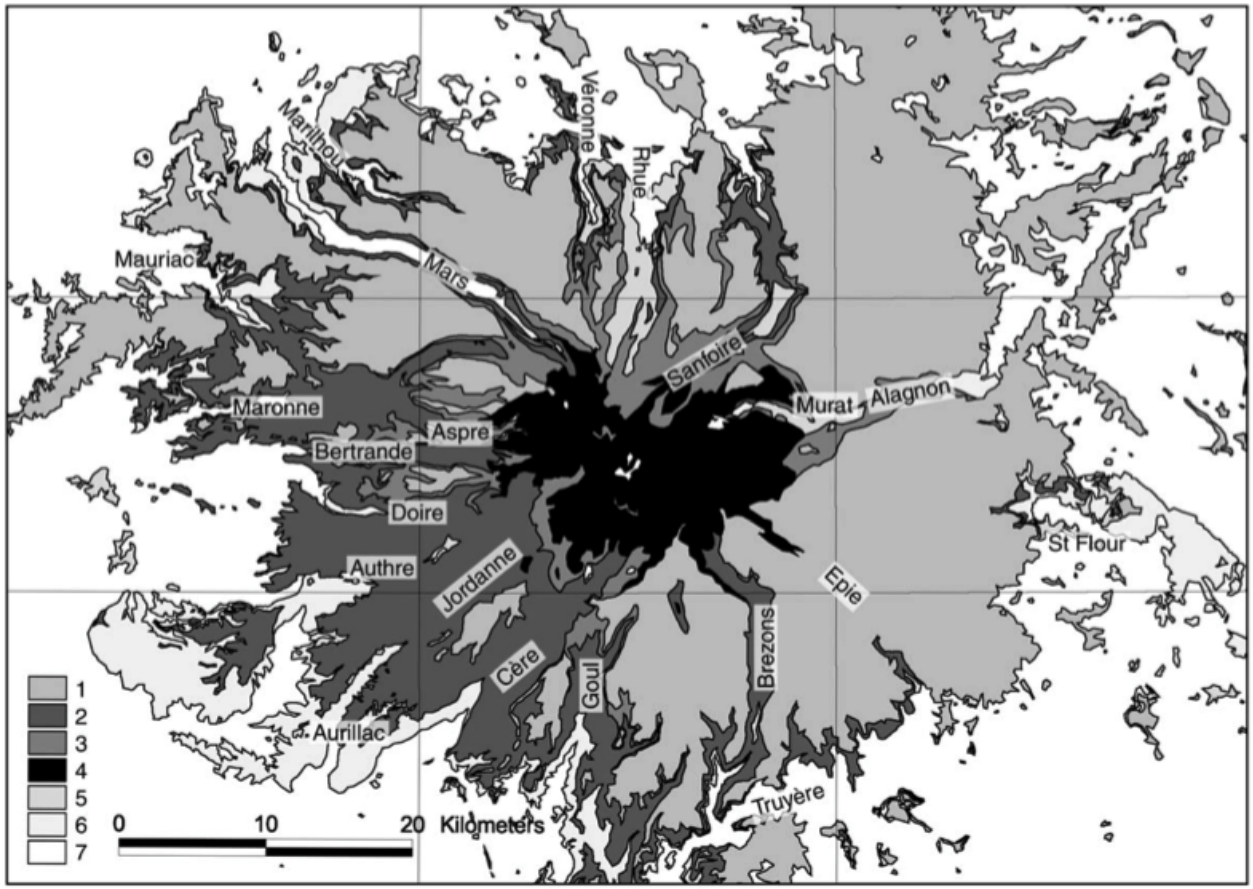


Modèle interprétatif de la formation des rifts Ouest-européens et de l'évolution du magmatisme du Massif Central par traction du slab à l'Éocène et l'Oligocène (A) puis flux asthénosphérique et digestion thermique de la lithosphère au Miocène (B).

Vue d'ensemble

- Le Cantal est le plus vaste stratovolcan d'Europe avec une superficie de 2700 km^2 ;
- Il se présente comme un tronc de cône entaillé par des vallées glaciaires radiales ;
- On y distingue :
  - Une zone centrale avec brèches et intrusions ;
  - Une zone externe de plateaux surtout basaltiques, à faible pente, les planèzes.
- L'épaisseur des formations volcaniques dans les régions sommitales est de l'ordre de 1000 m.

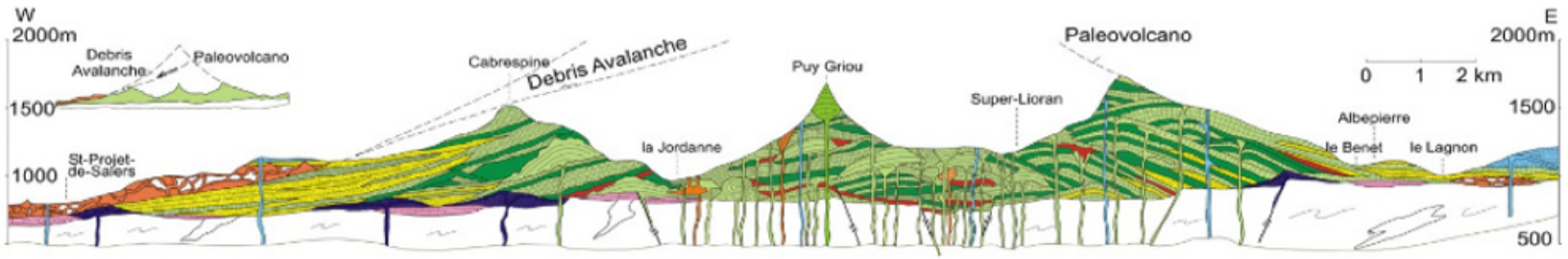
Le Cantal, géologie actuelle



Carte géologique simplifiée du Cantal. 1 : basaltes supracantaliens ; 2 : dépôts d'avalanches de débris ; 3 : dépôts de coulées de débris ; 4 coulées et pyroclastites trachyandésitiques et trachytiques ; 5 : basaltes infracantaliens ; 6 : sédiments oligo-miocènes ; 7 : socle hercynien. Le découpage rectangulaire correspond à celui des cartes au 1/50000.

Nehlig P. *et al.* Les volcans du Massif Central, Géologues, 2003

La structure du Cantal



Histoire géologique résumé du Cantal

- 13 à 7 Ma : premières éruptions (basaltes) ;
  - Seulement reconnues en fond de vallées et aux marges ;
  - Masquées par les produits plus récents.
- 10 à 6,5 Ma : volcanisme trachy-andésitique ;
  - Paroxysme entre 8,5 et 7 Ma ;
  - Laves, brèches, ponces trachyandésitiques, parfois rhyolitiques.
  - Dômes phonolitiques entre 7,5 et 5,5 Ma.
- 7 à 2 Ma : grande production basaltique ;
  - Peu visibles dans la zone centrale (quelques filons intrusifs) ;
  - Épaisse couverture de basalte au N ; quasi - absente au SE.
- Depuis 2 Ma : Érosion glaciaire et post-glaciaire.

Les avalanches de débris du Cantal

L'histoire des grands strato-volcans comme le Cantal passe par des alternances de phases :

- Longues périodes d'édifications, par éruptions répétées, de style éruptif variable ;
- Longues périodes de sommeil $\rightarrow$ érosion ;
- Périodes brèves de destruction instantanée.

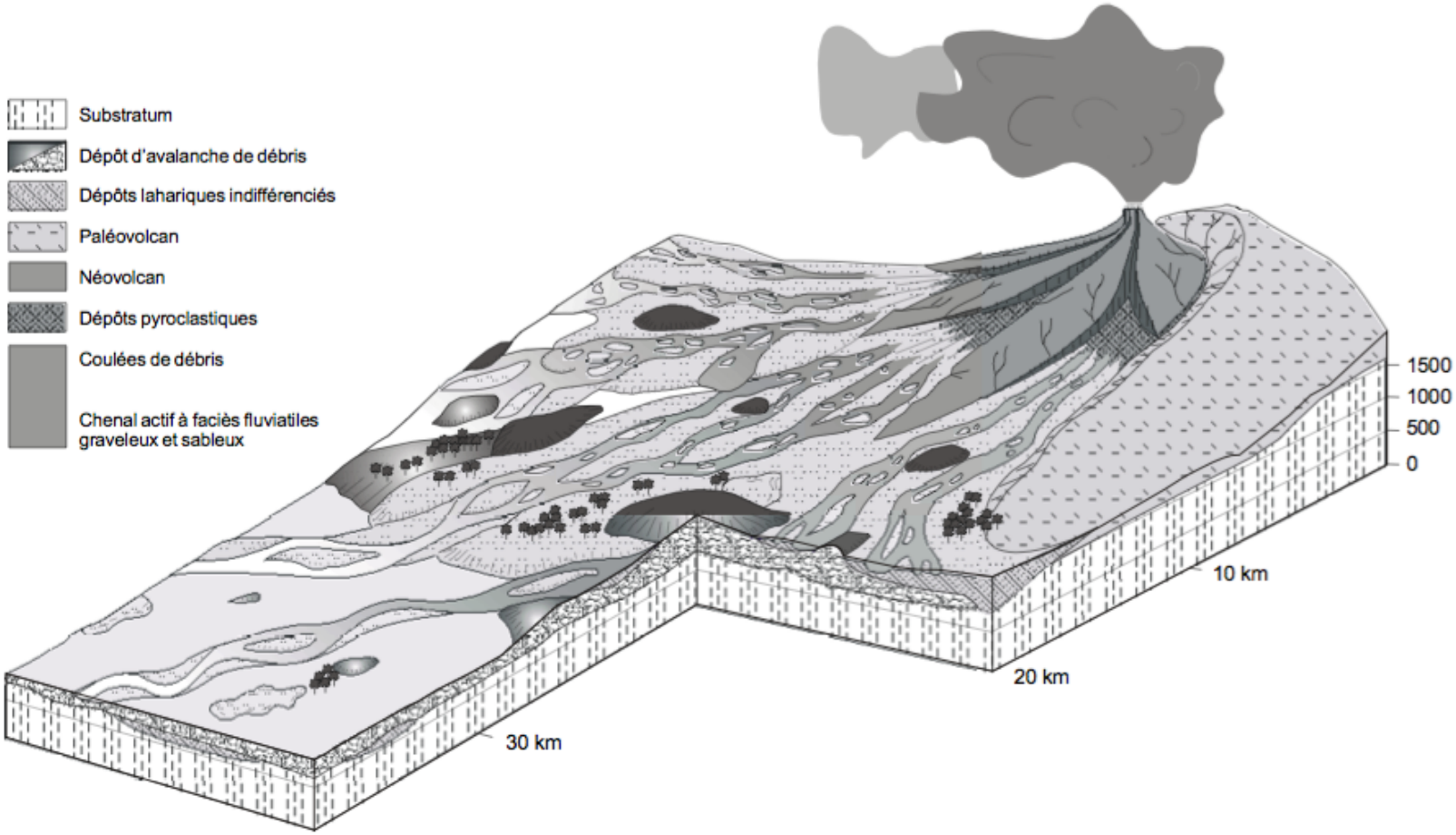
Les avalanches de débris du Cantal

- Les phases de destruction sont dues à des éruptions de grande intensité, avec :
  - Explosions paroxysmales ;
  - Effondrements centraux ;
  - Déstabilisation de flancs.
- $\rightarrow$ décapitation de l'édifice, qui peut perdre jusqu'à 1 km ;
- De tels évènements cataclysmiques (durée : quelques heures à quelques semaines), peuvent clore un cycle de construction ou au contraire en inaugurer un autre.

Les avalanches de débris du Cantal

- Le Cantal a sans doute connu plusieurs épisodes de destruction de ce type ;
- La présence sous le Cantal d'une importante accumulation argileuse, et peut-être de gypse, pourrait expliquer l'instabilité de l'édifice et l'amplitude exceptionnelle des grands glissements qui l'ont détruit à plusieurs reprises.

Un modèle du Cantal



Nehlig P. *et al.* Les volcans du Massif Central, Géologues, 2003

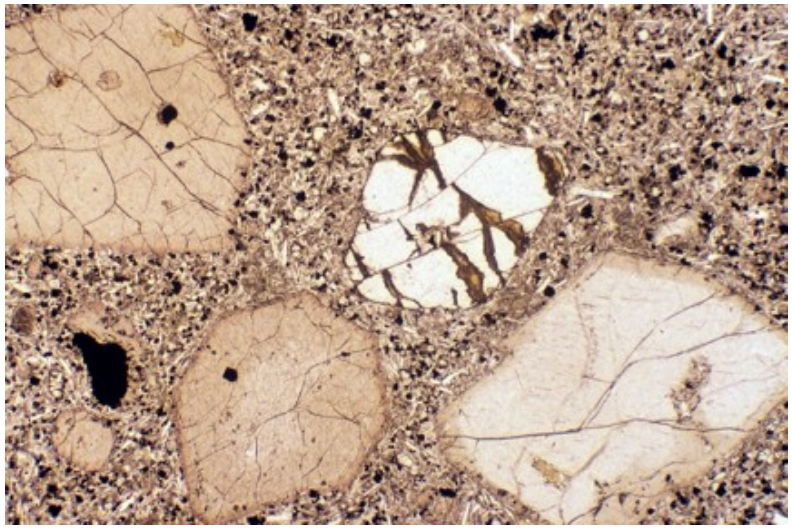
Les basaltes infra-cantaliens

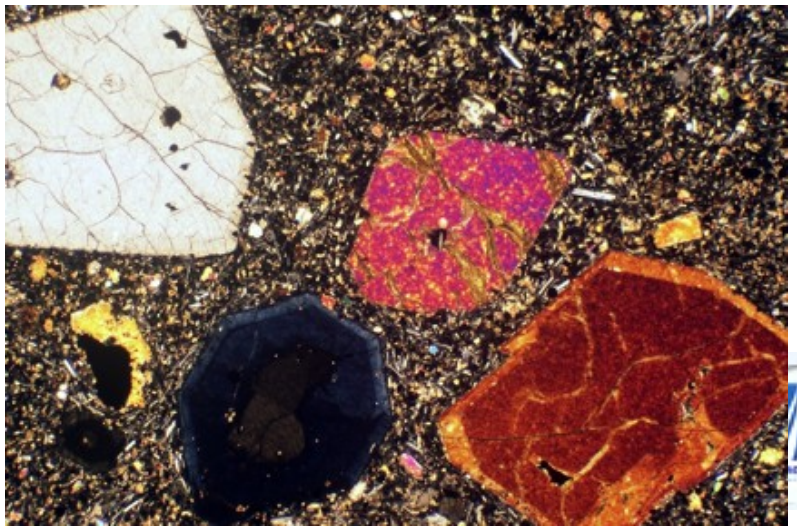
- Laves indifférenciées, surtout connues dans le secteur septentrional ; ailleurs, elles sont très dispersées et recouvertes par les formations plus récentes ;
- Il s'agit de constructions comportant des coulées, associées à des pyroclastites variées ;
- Les laves sont des basaltes alcalins et des basanites pouvant évoluer jusqu'aux trachy-basaltes (= hawaïtes) ;
- Elles traduisent l'installation d'un réservoir profond, basicrustal.

Les basaltes infra-cantaliens

Basalte alcalin
L.P.N.A. et L.P.A.

- Phénocristaux : augites zonés, olivines altérées ;
- Mésostase : plagioclases, pyroxènes, rares olivines, opaques.





Le strato-volcan trachy-andésitique

- Vers 9 Ma débute la construction du strato-volcan proprement dit, qui implique la formation et le maintien d'un vaste réservoir intra-crustal ;
- Cet édifice fonctionnera jusqu'à 6,5 Ma ;
- Pendant 2,5 Ma, il s'est vraisemblablement détruit et reconstruit quatre fois ;
- Il y a eu d'abord émission de coulées basaltiques ($\approx$ 10 à 7 Ma), recouvertes ensuite par les produits suivants.

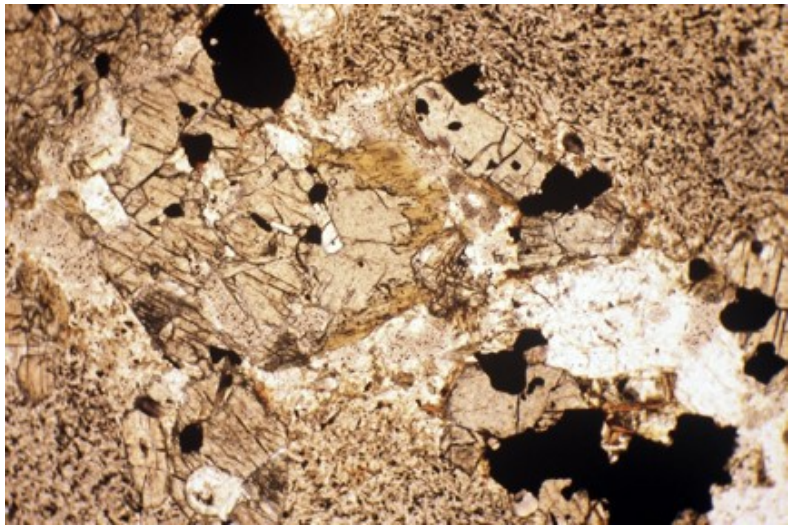
Les laves du strato-volcan

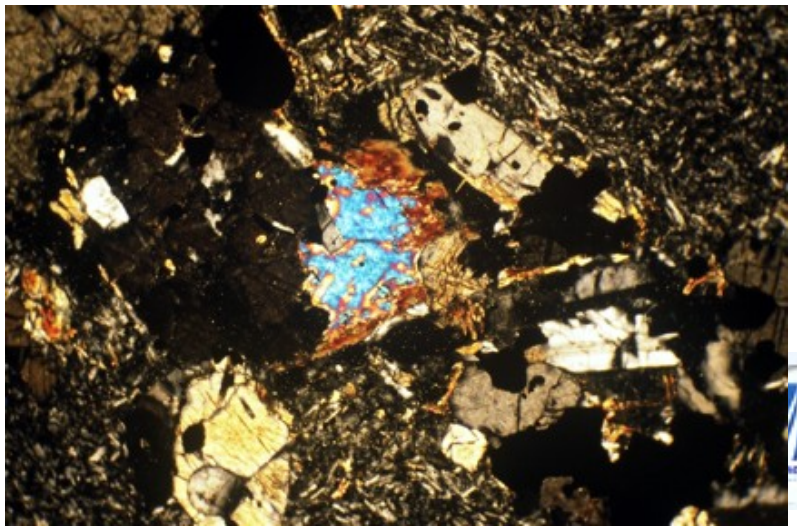
- Le stratovolcan a été principalement alimenté par des magmas saturés, constituant une série modérément alcaline. Les termes les mieux représentés sont des « trachyandésites » plus ou moins différenciés :
  - Trachyandésite à augite et hypersthène ;
  - Trachyandésite à augite et oxyhornblende ;
  - Trachyandésite à augite et biotite ;
  - Trachyandésite à oxyhornblende et biotite.
- L'évolution s'est poursuivie jusqu'à des termes plus acides et plus différenciés :
  - Trachytes ;
  - Rhyolites.
- Toutes ces laves ont été généralement émises de façon explosive.

Les laves du strato-volcan

Trachyandésite à augite et hypersthène
L.P.N.A. et L.P.A.

- Phénocristaux : hypersthènes (Opx), augites (Cpx) et opaques ;
- Mésostase : plagioclases, feldspaths alcalins, pyroxènes, opaques.

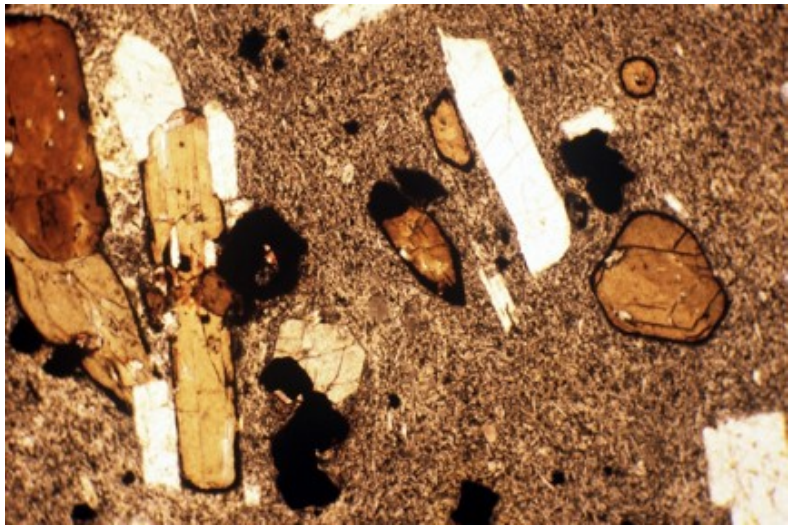


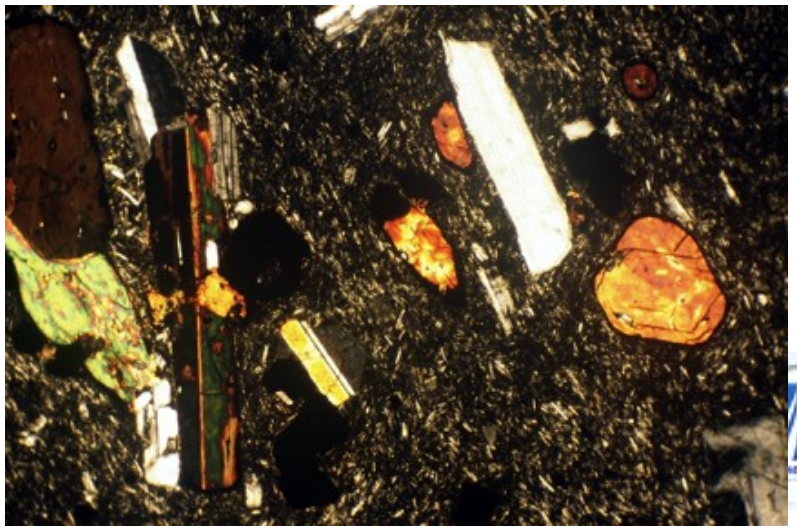


Les laves du strato-volcan

Trachyandésite à augite et oxyhornblende
L.P.N.A. et L.P.A.

- Phénocristaux : plagioclases, oxyhornblendes, augites, opaques ;
- Mésostase : plagioclases, quelques feldspaths alcalins, pyroxènes, opaques, verre.

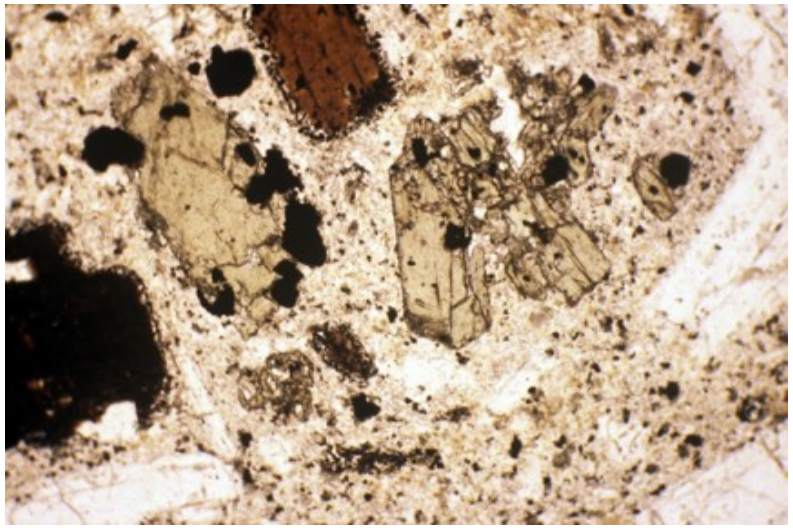


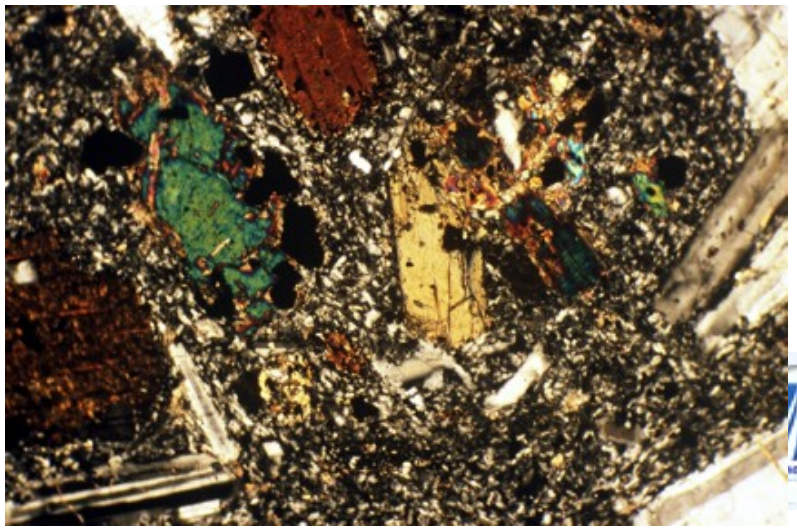


Les laves du strato-volcan

Trachyandésite à augite et biotite
L.P.N.A. et L.P.A.

- Phénocristaux : plagioclases, augites, biotites et opaques ;
- Mésostase : plagioclases, feldspaths alcalins, pyroxènes, opaques.



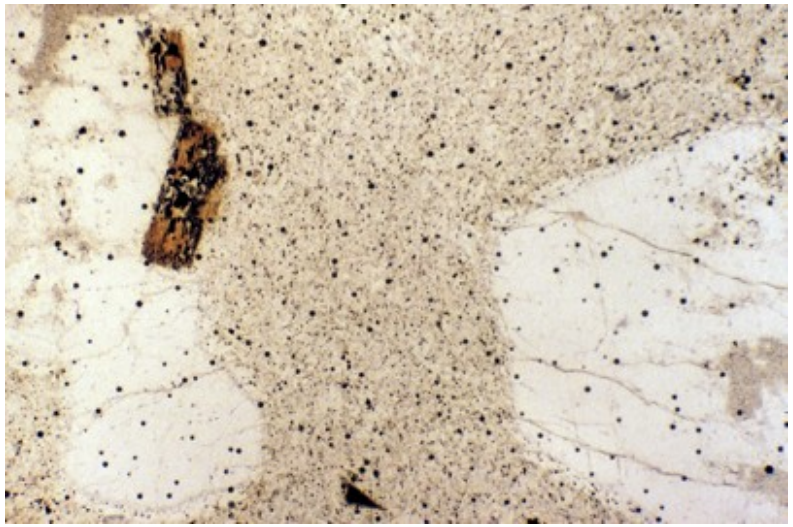


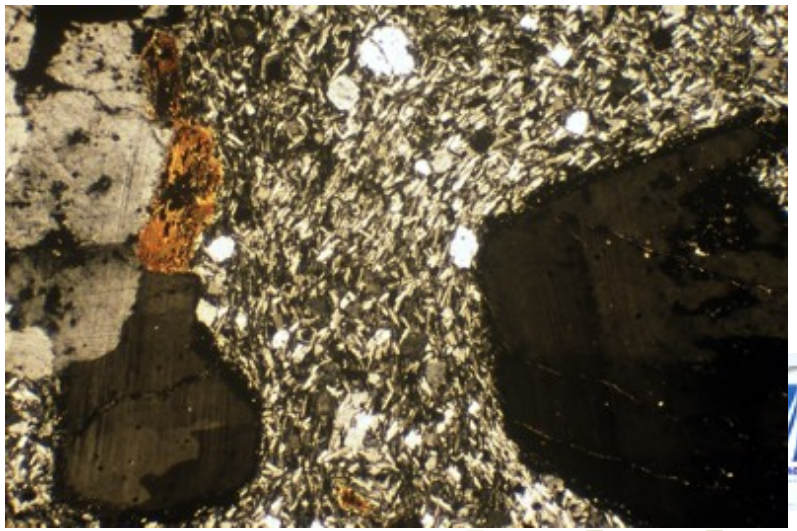
Les laves du strato-volcan

Trachyte

L.P.N.A. et L.P.A.

- Phénocristaux : feldspaths alcalins (anorthose) et biotites ± résorbées ;
- Mésostase : feldspaths alcalins, opaques.



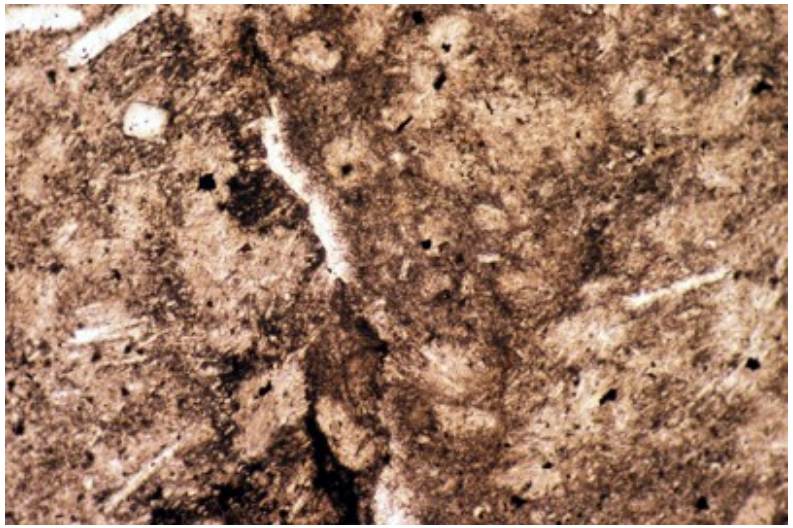


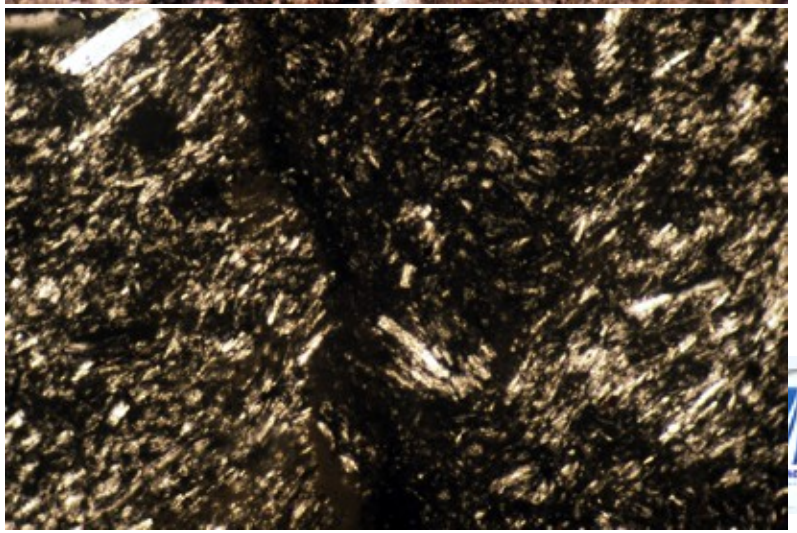
Les laves du strato-volcan

Rhyolite

L.P.N.A. et L.P.A.

- Phénocristaux : sanidines, opaques ;
- Mésostase : verre.





Les laves du strato-volcan

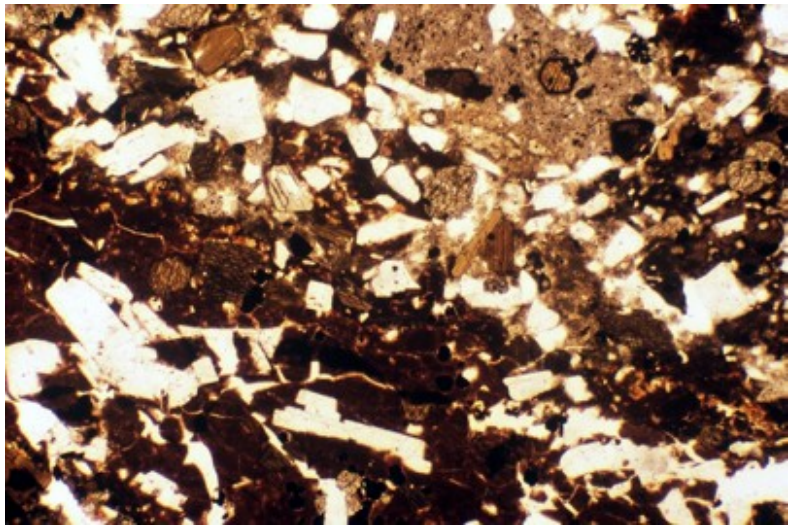
- Il existe des coulées et des intrusions (dômes), mais la majorité des produits de la région centrale sont des pyroclastites, directes ou remaniées : au moins 80 % du volume total → brèches.
- On identifie également une série minoritaire, plus alcaline, sous-saturée, qui fonctionne vers la fin de l'activité du stratovolcan, et après (7 à 6 Ma).
- Les magmas sous-saturés sont vraisemblablement d'origine plus profonde que les autres ;
- Ce sont des roches peu différenciées :
  - Téphrites ;
  - Phonolites.

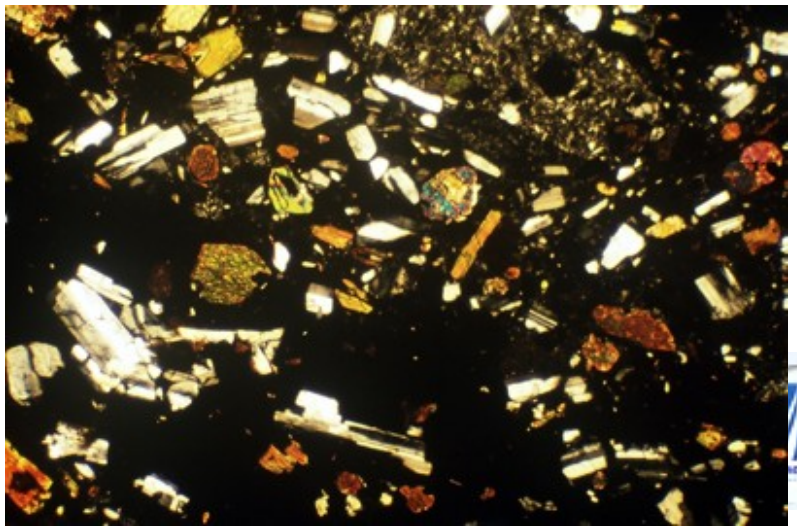
Les laves du strato-volcan

Brèche

L.P.N.A. et L.P.A.

- Fragments de roches (trachy-andésites) et minéraux isolés ;
- Feldspaths, augites, oxyhornblendes, opaques ;
- Mésostase : verre.



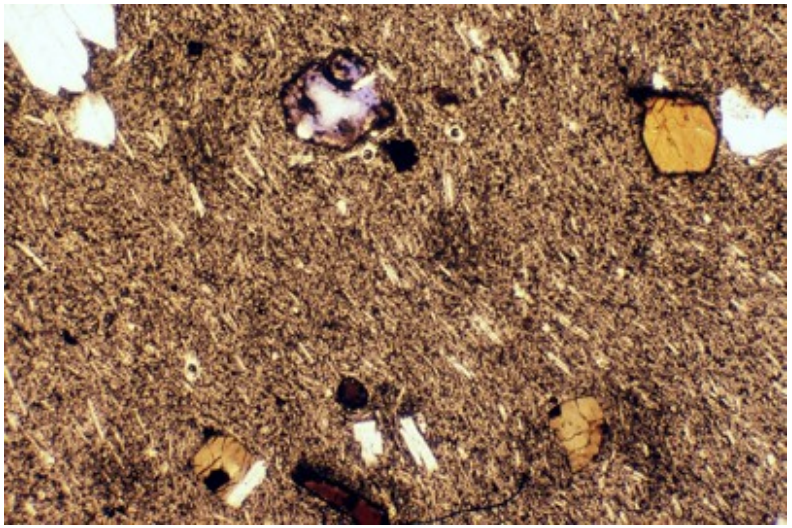


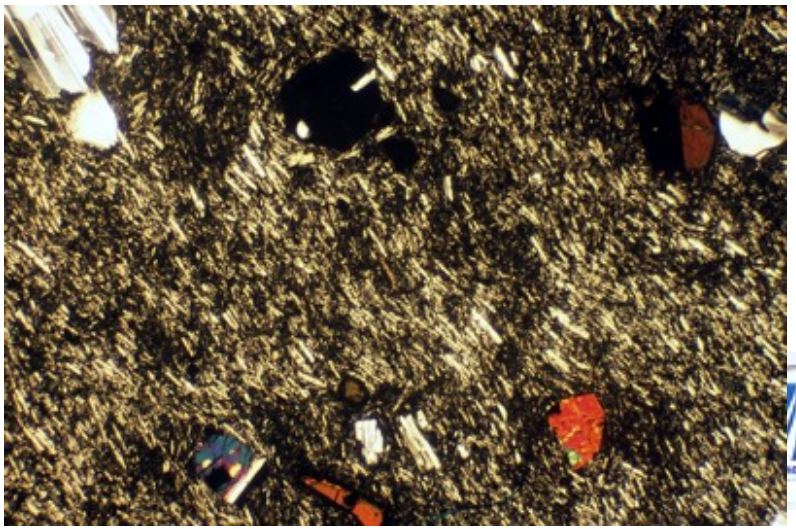
Les laves du strato-volcan

Téphrite

L.P.N.A. et L.P.A.

- Phénocristaux : plagioclases, haüynes, oxyhornblendes, augites, opaques ;
- Mésostase : plagioclases, alcalins, augites, opaques.



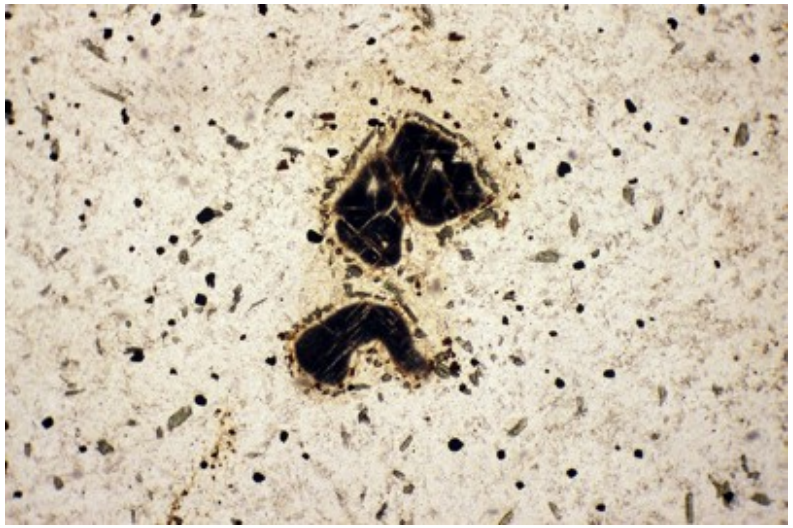


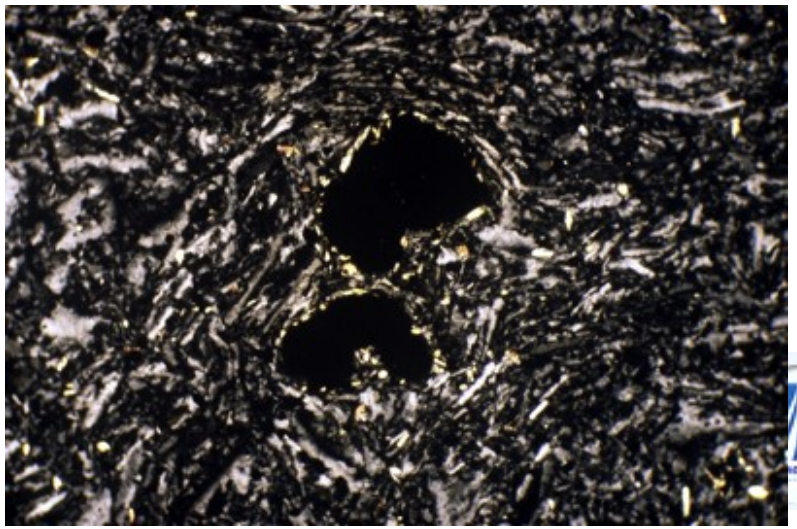
Les laves du strato-volcan

Phonolite

L.P.N.A. et L.P.A.

- Phénocristaux : noséanes, sanidines, augites ægyriniques ;
- Mésostase : sanidines orientées, augite ægyriniques, sphènes, opaques.





Avalanches de débris et remaniements associés

- L'édification du stratovolcan s'accompagne de plusieurs déstabilisations de flancs ayant évolué en avalanche de débris ;
- $\Rightarrow$ Ruptures de flanc par déséquilibre gravitaire, entraînant l'effondrement de vastes secteurs de l'édifice volcanique (interprétation par analogie avec le Mt St-Helens) ;
- Ces évènements cataclysmiques engendrent des dépôts d'avalanches de débris, repris par des écoulements boueux (lahars).

Avalanches de débris et remaniements associés

- On observe différents faciès, des régions centrales vers la périphérie :

Avalanches de débris et remaniements associés

- On observe différents faciès, des régions centrales vers la périphérie :
  - Faciès d'avalanches de débris : comprenant des panneaux et des blocs plus ou moins fracturés ; on les trouve à l'amont des grandes vallées ;

Avalanches de débris et remaniements associés

- On observe différents faciès, des régions centrales vers la périphérie :
  - Faciès d'avalanches de débris : comprenant des panneaux et des blocs plus ou moins fracturés ; on les trouve à l'amont des grandes vallées ;
  - Faciès de coulées de débris : produit d'écoulements turbulents, d'aspect désordonné ; généralement bien consolidés, ils forment des reliefs ruiniformes et constituent les interfluves des moyennes vallées ;

Avalanches de débris et remaniements associés

- On observe différents faciès, des régions centrales vers la périphérie :
  - Faciès d'avalanches de débris : comprenant des panneaux et des blocs plus ou moins fracturés ; on les trouve à l'amont des grandes vallées ;
  - Faciès de coulées de débris : produit d'écoulements turbulents, d'aspect désordonné ; généralement bien consolidés, ils forment des reliefs ruiniformes et constituent les interfluves des moyennes vallées ;
  - Faciès de coulées boueuses : écoulements dilués, à matrice sablo-argileuse, comportant des éléments de tailles très variables, allant du mégabloc aux fragments plus petits ; ce sont des lahars, surtout présents dans les basses vallées.

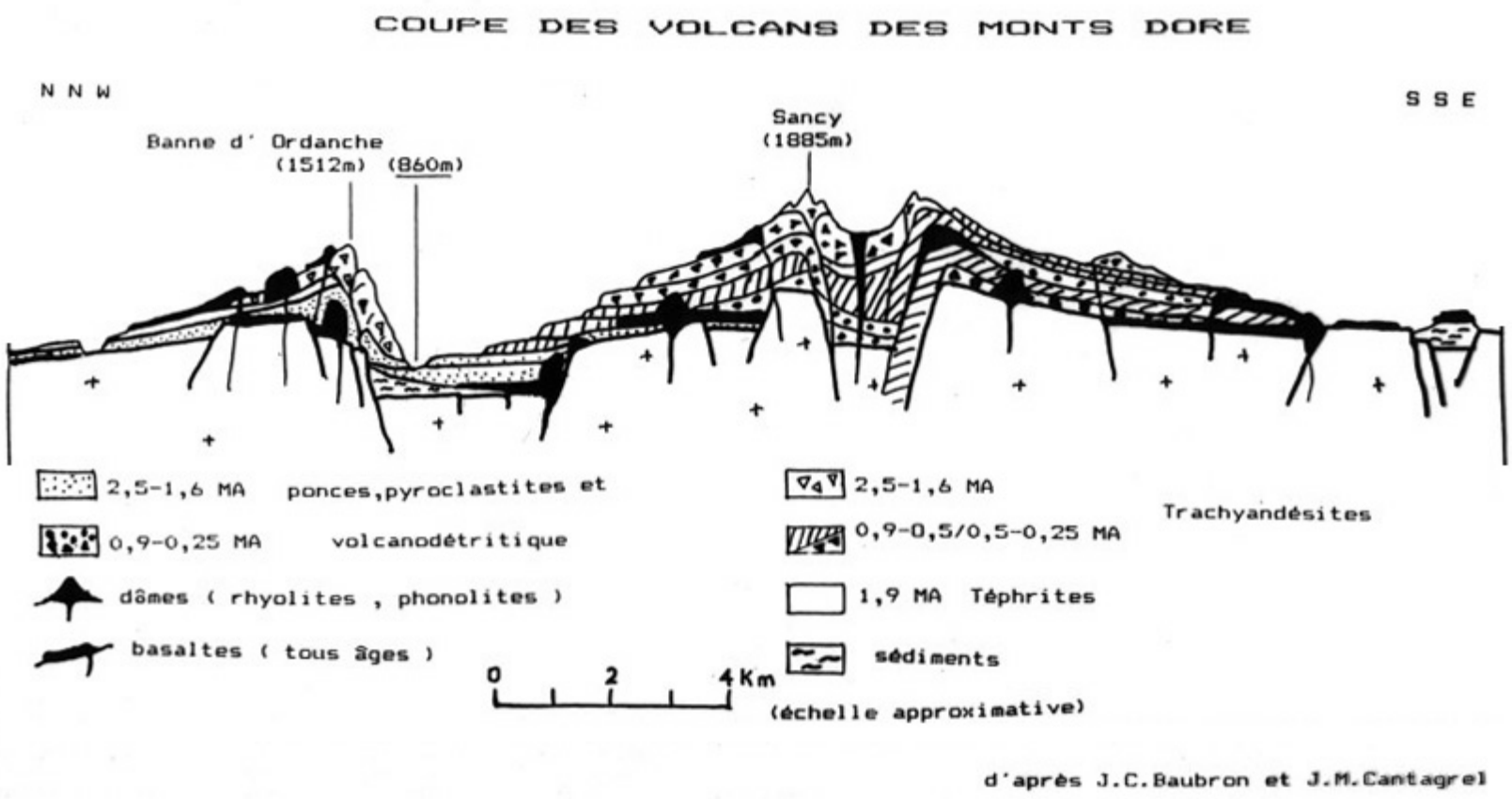
Avalanches de débris et remaniements associés

- Il y aurait eu au moins quatre avalanches de débris :
  - Dans les secteurs Nord et Est ($> 7{,}4$ Ma) ;
  - Dans le secteur Ouest (entre 7,4 et 7,2 Ma) ;
  - Dans les secteurs Sud et Sud-Ouest ($< 7{,}2$ Ma).

Le massif du Mont-Dore

- Un massif volcanique elliptique. 35 km $\times$ 16 km - 500 km^2 ;
- 220 km^3 de produits émis + 100 km^3 ôtés par l'érosion glaciaire ;
- Bouches éruptives alignées NS et NO-SE ;
- 3 cycles éruptifs : 4,6 Ma $\rightarrow$ 3 Ma, 3 Ma $\rightarrow$ 1,5 Ma, 1,5 Ma $\rightarrow$ 0,2 Ma.

Le massif du Mont-Dore



Les trois cycles éruptifs

Cycle inférieur (∼20% du volume émis).

- Laves : basaltes (D.I. $\simeq$ 30) et quelques termes plus différenciés $\Rightarrow$ Série alcaline sans termes intermédiaires.
- Basaltes ankaramitiques (= riches en Px), sombres, à feldspathoïdes normatifs.
  - Pyroxènes (augite) + Plagioclases (labrador) + Olivine + Opaques.
- Quelques trachytes clairs en dômes intrusifs.
  - Sanidine (90%) + Ægyrine + Opaques.
- Rhyolites en dômes ou sills.
  - Quartz (10%) + Sanidine (80%) + Micas (10%) + Opaques.

Les trois cycles éruptifs

Cycle moyen (∼60% du volume émis)

- >15% de pyroclastites : Première éruption ignimbritique ⇒ nappe de ponces (350 km^2), composition de rhyolite, enclaves de socle ⇔ formation de la caldeira de haute Dordogne ;
  - Quartz + Sanidine + Amphibole + Ilménite + Opaques.
- Une série basaltique (D.I. $\leq$ 50) : Basanite $\rightarrow$ Trachy-basaltes (Hawaiite) ;
  - β ankaramitique (Plagio = Labrador + Augite + Ol + Magnétite) + β demi-deuil - Hawaiite (plagio = andésine, peu de ferro-magnésiens)
- Puis différenciation de deux séries pour D.I. > 50 :
  - série saturée (rhyolites) ;
  - série sous - saturée (phonolites).

Les trois cycles éruptifs

Cycle moyen (∼60% du volume émis)

- >15% de pyroclastites : Première éruption ignimbritique ⇒ nappe de ponces (350 km^2), composition de rhyolite, enclaves de socle ⇔ formation de la caldeira de haute Dordogne ;
  - Quartz + Sanidine + Amphibole + Ilménite + Opaques.
- Une série basaltique (D.I. $\leq$ 50) : Basanite $\rightarrow$ Trachy-basaltes (Hawaiite) ;
  - β ankaramitique (Plagio = Labrador + Augite + Ol + Magnétite) + β demi-deuil - Hawaiite (plagio = andésine, peu de ferro-magnésiens)
- Puis différenciation de deux séries pour D.I. > 50 :
  - série saturée (rhyolites) ;
  - série sous - saturée (phonolites).

Cycle supérieur (∼20% du volume émis)

- Roches semblables à celles du cycle moyen.

Les noms locaux des laves du Mont-Dore

Plusieurs laves du Mont-Dore, dans les séries saturée et sous-saturée, portent des appellations d'origine locale. On peut leur faire correspondre leur dénomination dans la nomenclature internationale.

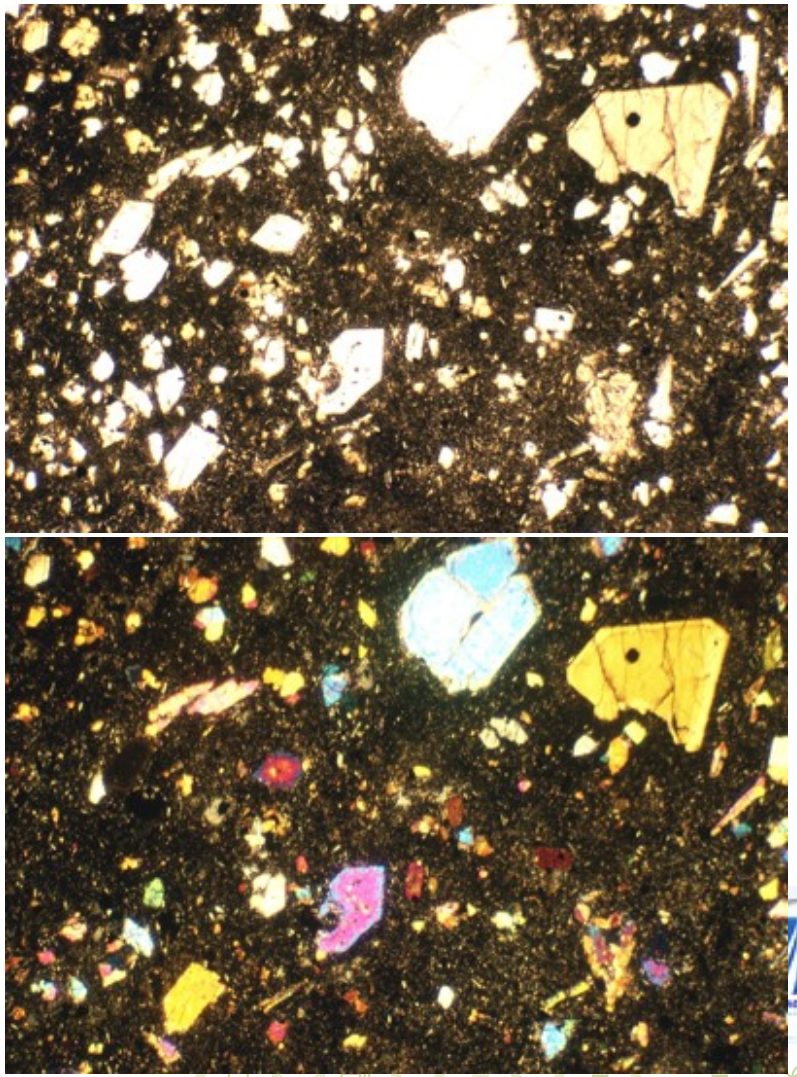
Correspondance des dénominations

- **Ordanchite** (Banne d'Ordanche) ⇔ Téphrite, téphrite phonolitique ;
- **Doréite** (Mont-Dore) ⇔ Mugéarite = Trachy-basalte ;
- **Sancyite** (Puy de Sancy) ⇔ Benmoréite = Trachy-andésite.

Exemple de produits du cycle inférieur

Ankaramite (β à cpx)
L.P.N.A. et L.P.A.

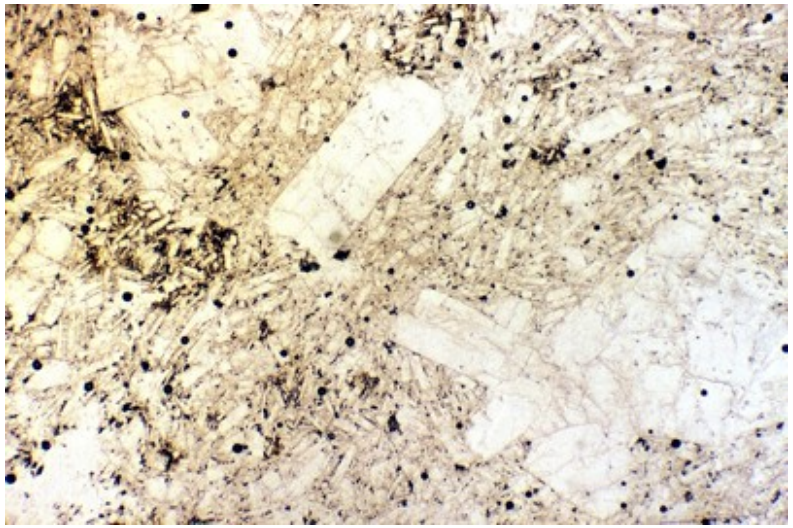
- Roche très riche en ferro-magnésiens (olivines, augites, oxydes opaques) ;
- Donc roche indifférenciée.

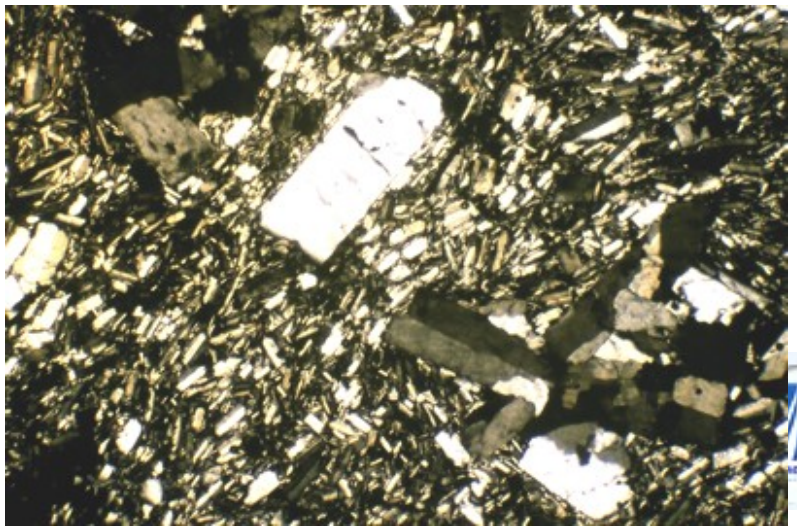


Exemple de produits du cycle inférieur

Trachyte
L.P.N.A. et L.P.A.

- Phénocristaux : feldspaths alcalins surtout ;
- Donc différenciation poussée ;
- Richesse en sodium ⇒ ferro-magnésiens sodiques.



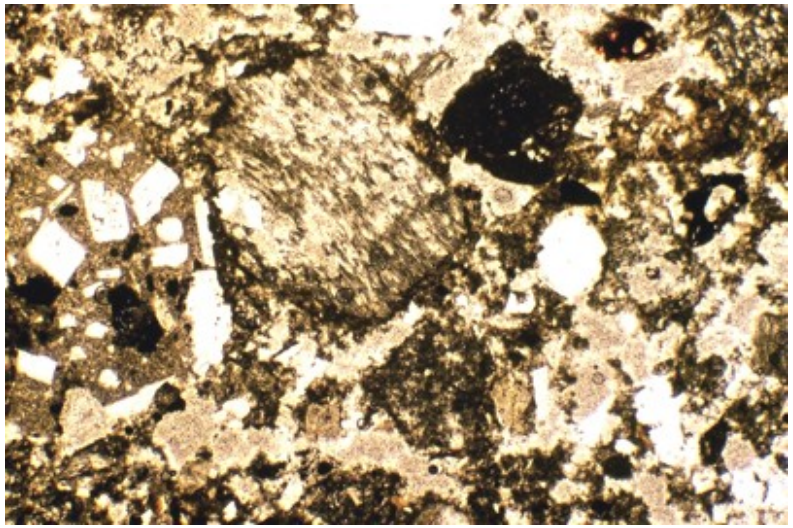


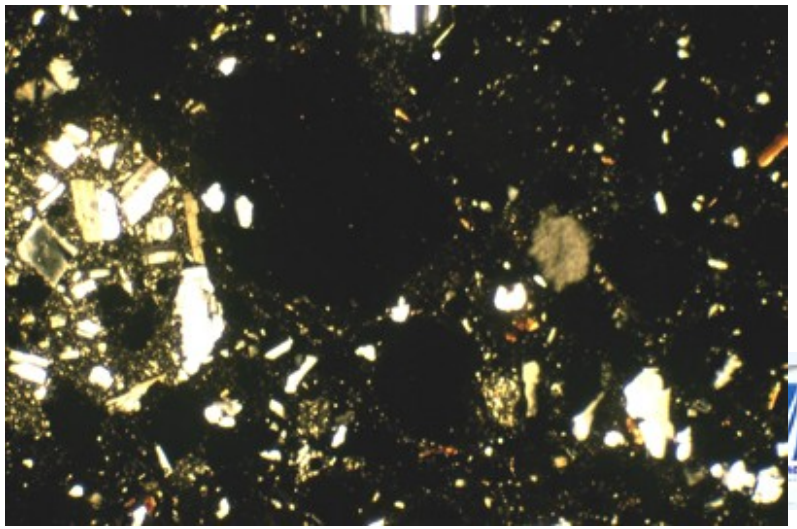
Exemple de produits du cycle moyen

Ponces

L.P.N.A. et L.P.A.

- Débris de roche (trachyte) ;
- Phénocristaux : plagioclases, feldspaths alcalins, biotites ;
- Mésostase : matrice vitreuse et ponces fibreuses.



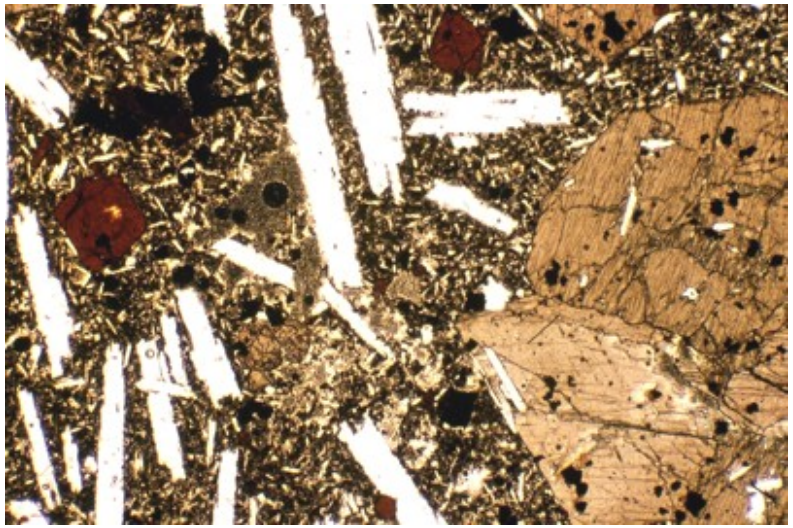


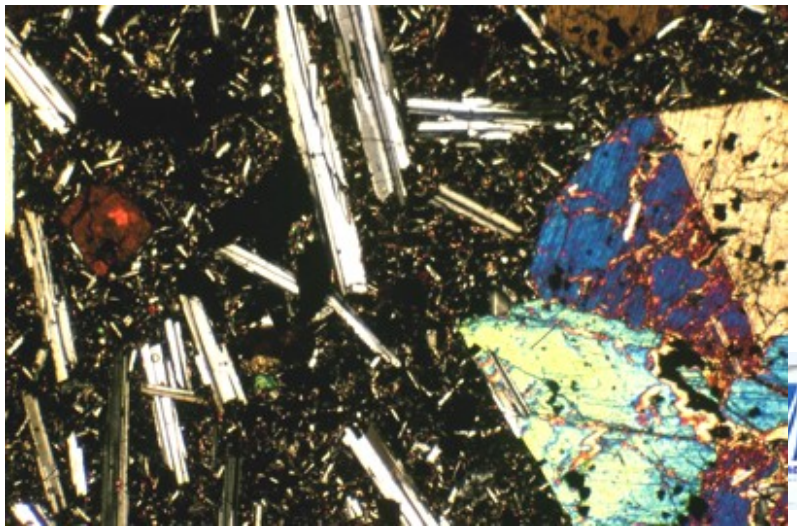
Exemple de produits du cycle moyen

Ponces

L.P.N.A. et L.P.A.

- Très grands plagioclases, visibles à l'œil nu ;
- Pyroxènes (augites ± titanifères) et olivines altérés.

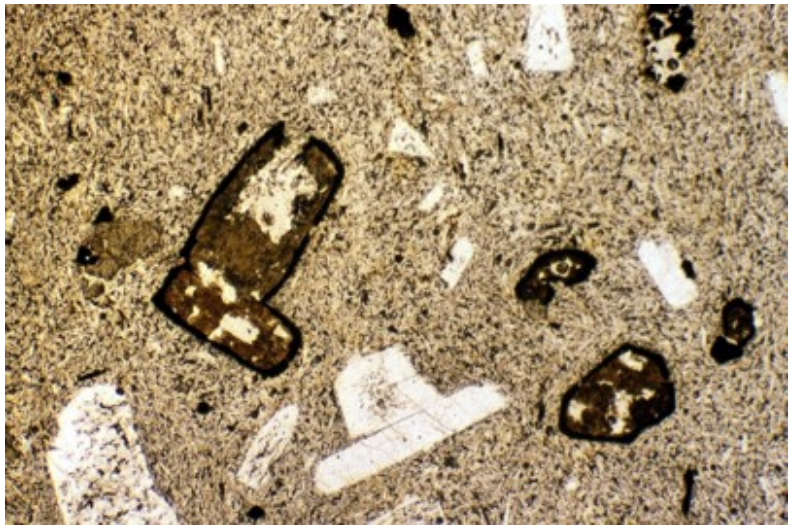


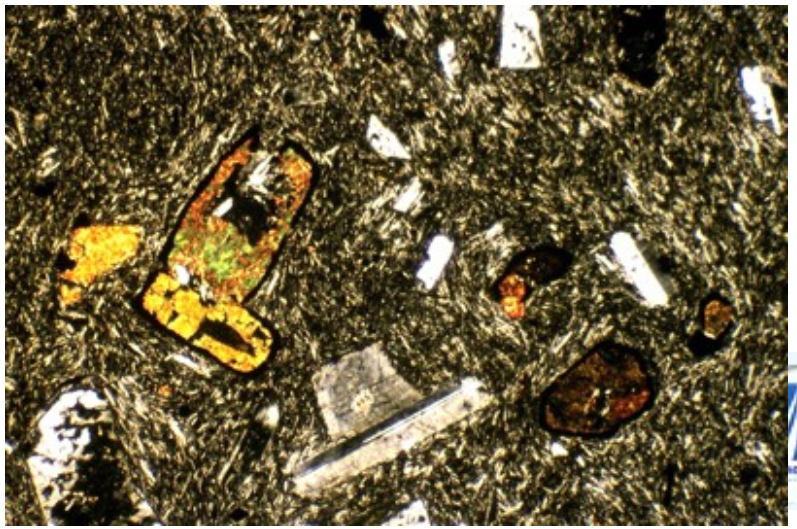


Exemple de produits du cycle moyen

Série saturée : Doréite
L.P.N.A. et L.P.A.

- Phénocristaux : augites, oxyhornblendes, ferromagnésiens ;
- Mésostase à feldspaths alcalins.

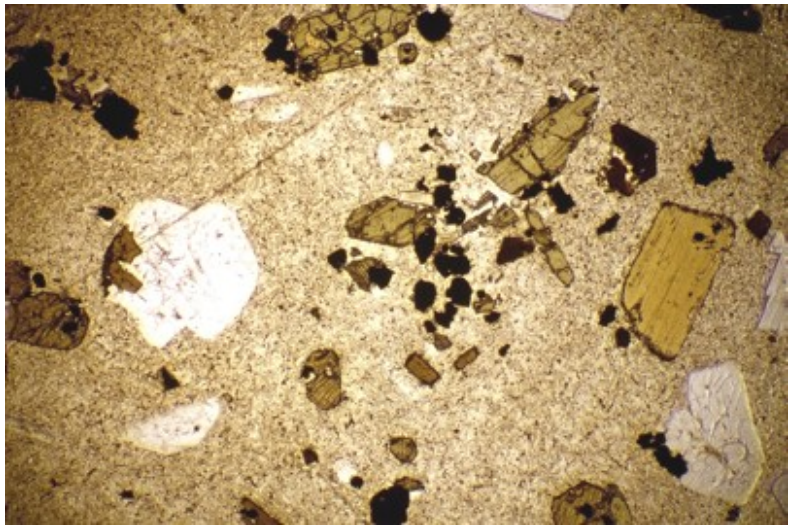


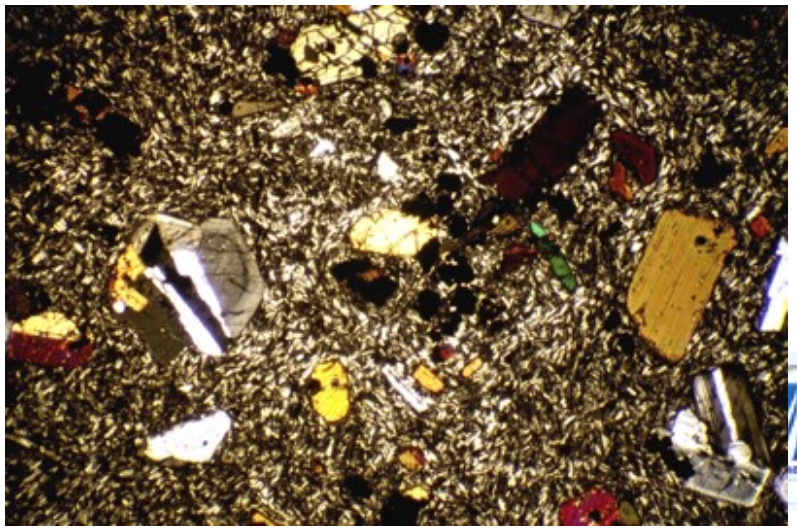


Exemple de produits du cycle moyen

Série saturée : Sancyite
L.P.N.A. et L.P.A.

- Phénocristaux : feldspaths alcalins plus fréquents ;
- ferro-magnésiens plus riches en silice : biotite.

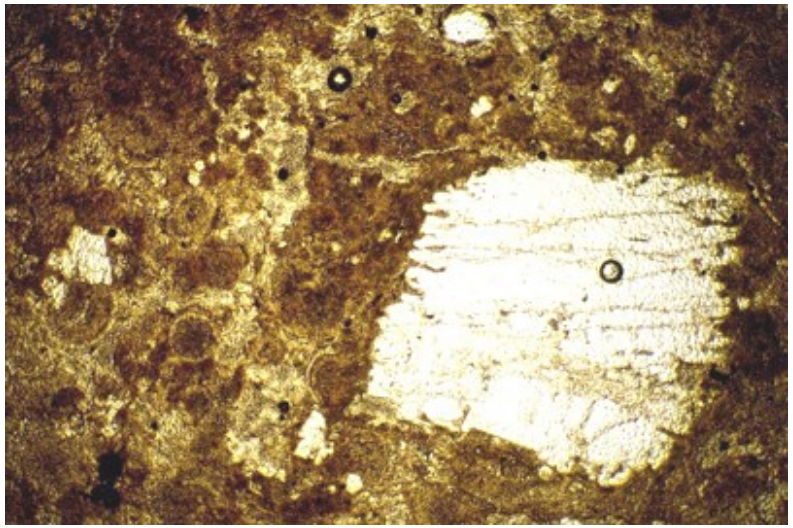


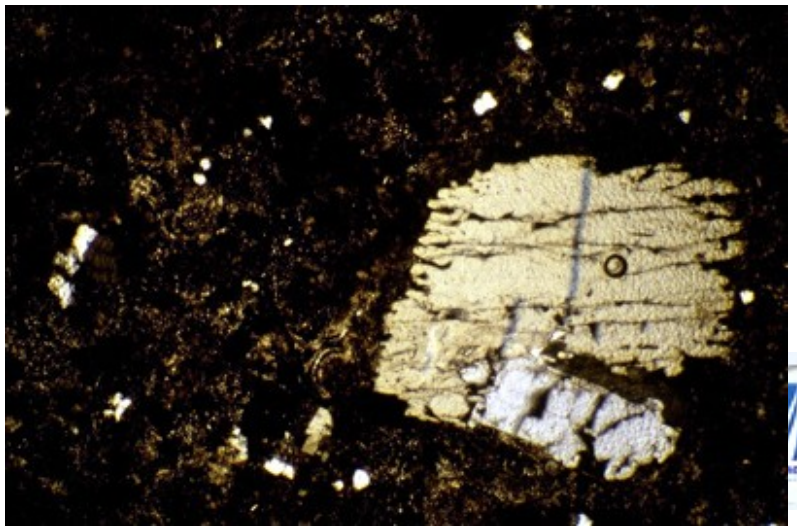


Exemple de produits du cycle moyen

Série saturée : Rhyolite
L.P.N.A. et L.P.A.

- Phénocristaux : feldspaths alcalins ;
- Mésostase : verre de silice, dévitrifiée ⇒ sphérolites.

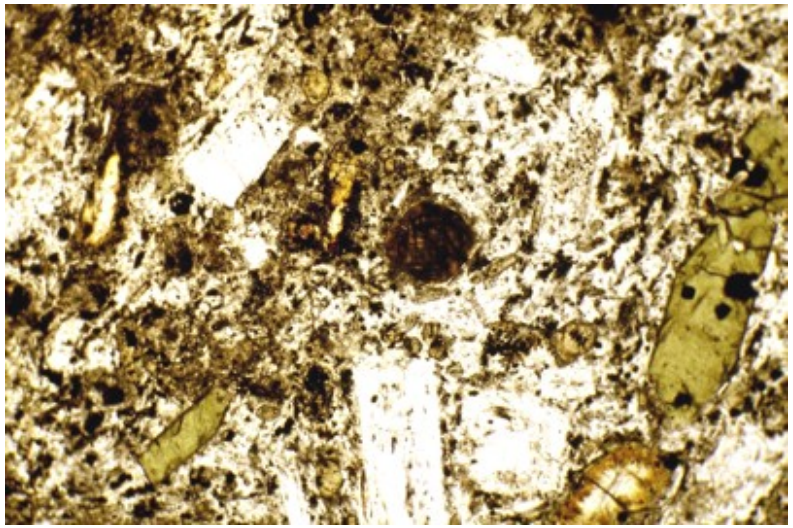


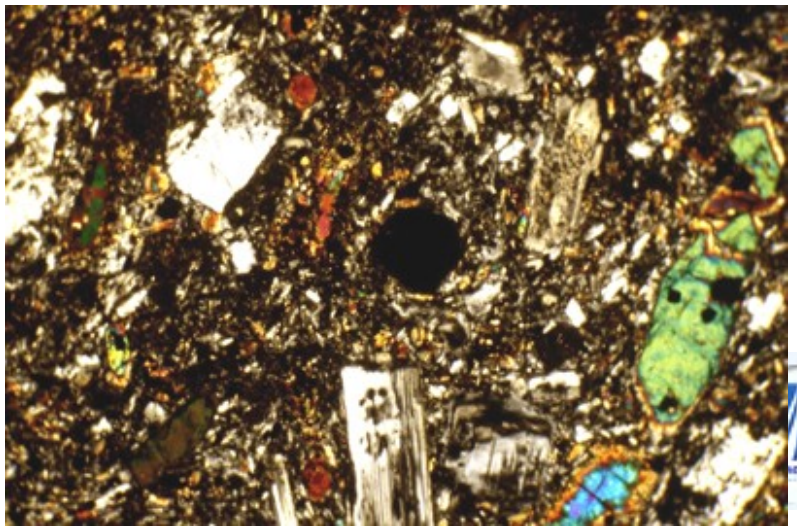


Exemple de produits du cycle moyen

Série sous-saturée : Ordanchite
L.P.N.A. et L.P.A.

- Phénocristaux : Olivines et augites ;
- Donc ici roche très pauvre en silice.

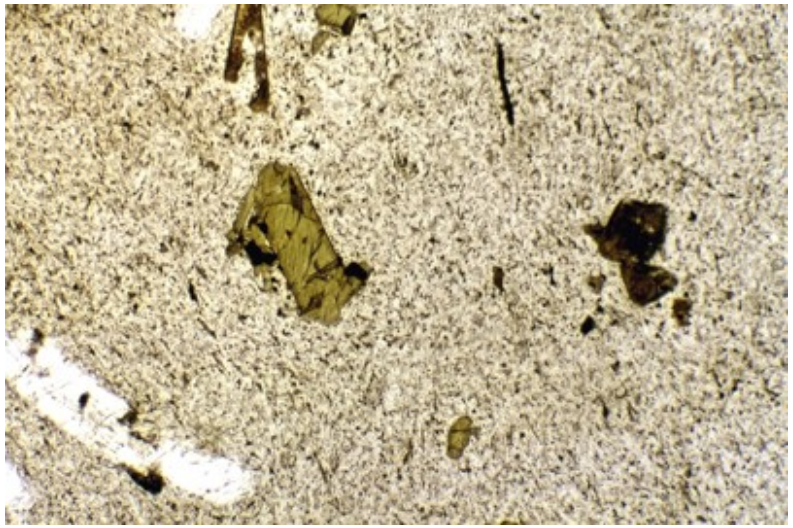


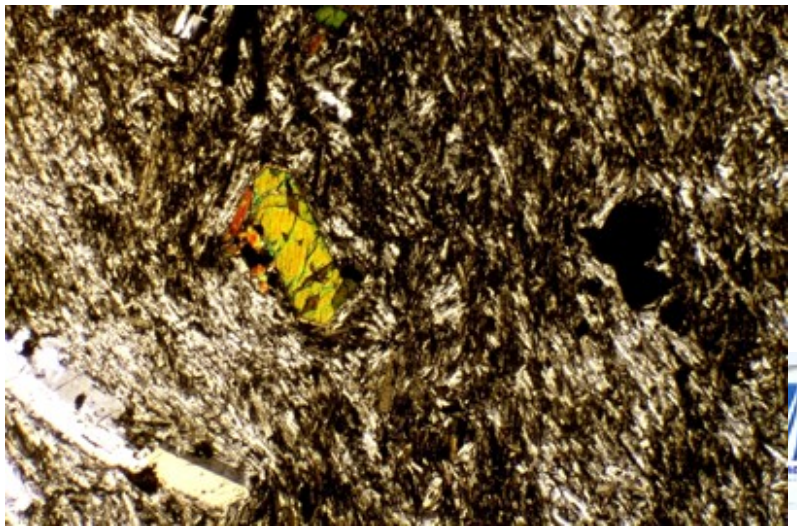


Exemple de produits du cycle moyen

Série sous-saturée : Phonolite
L.P.N.A. et L.P.A.

- Phénocristaux : feldspaths alcalins et ferromagnésiens sodiques (augites ægyriniques) ;
- Donc ici roche très différenciée, mais relativement pauvre en silice (< 65 %).

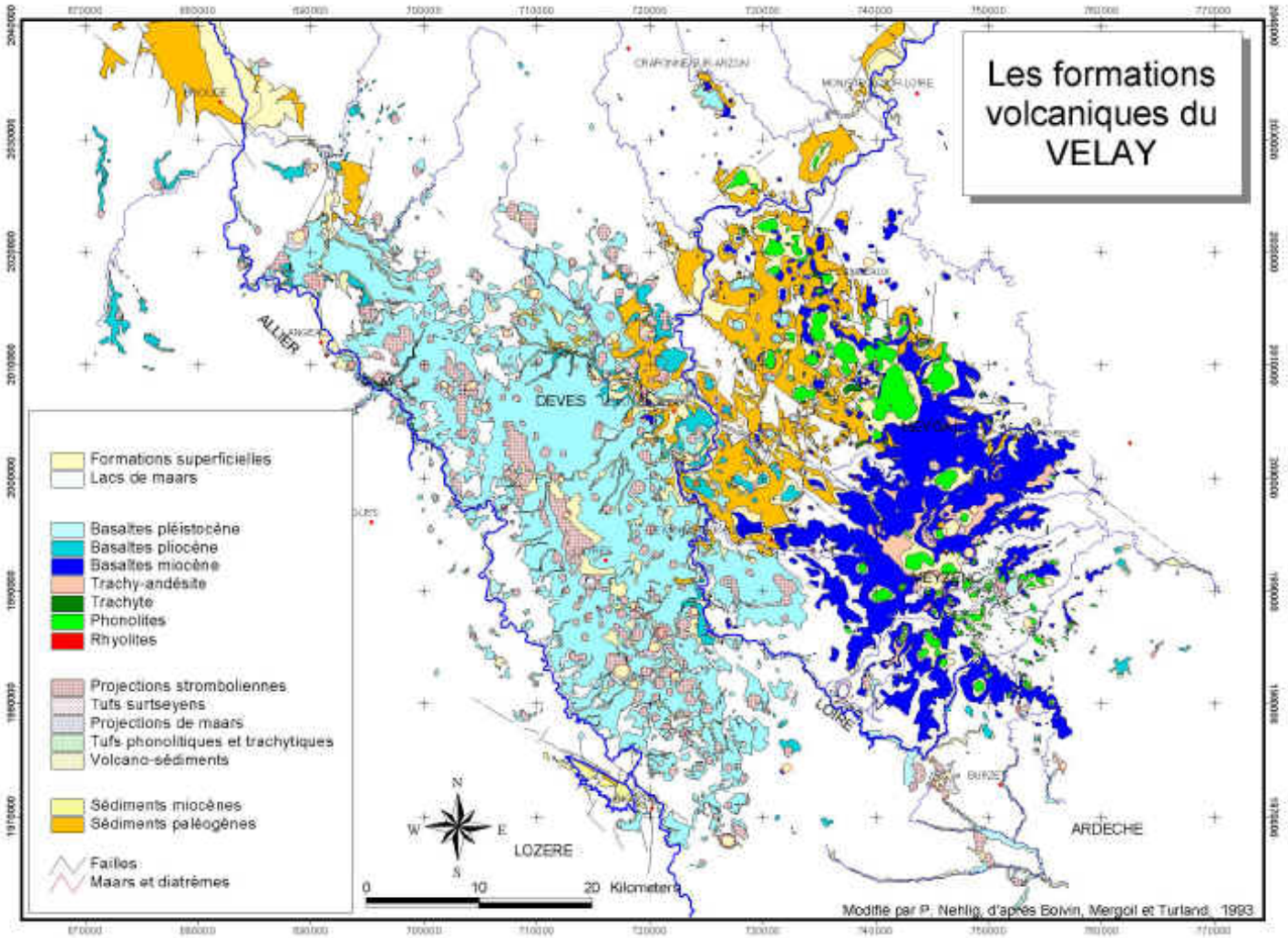




Troisième partie III

Volcanisme du Velay

Les plateaux basaltiques



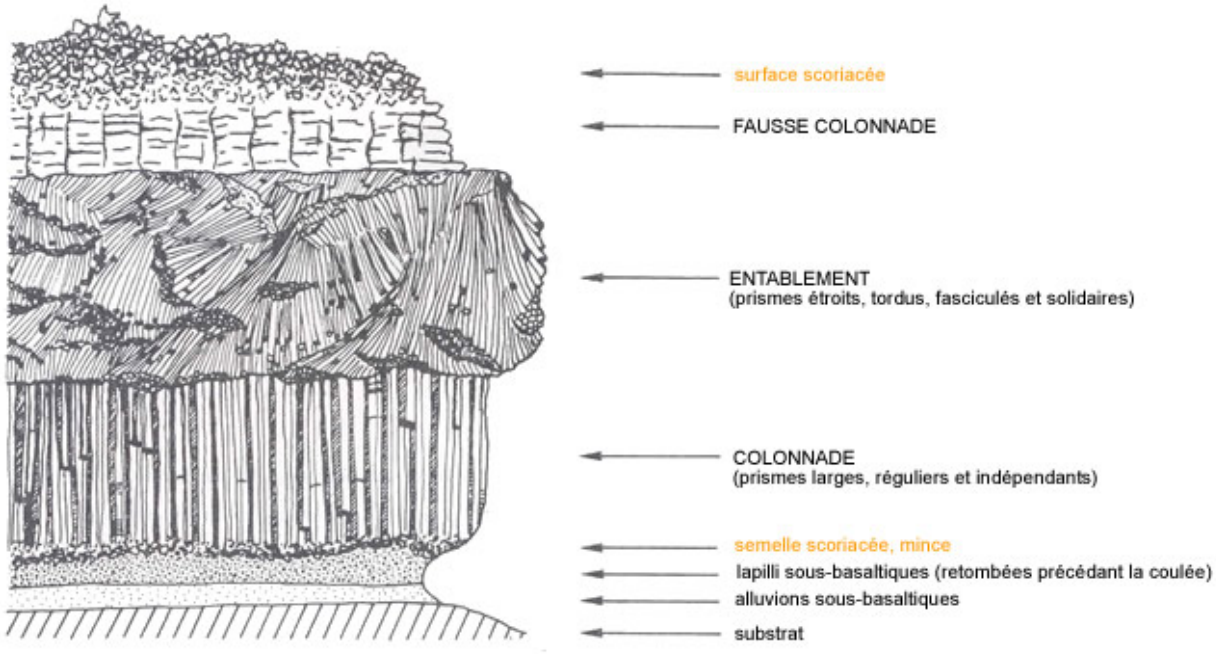
Les plateaux basaltiques

La morphologie des coulées de lave

Exemple : la coulée de la carrière d'Yssingeaux

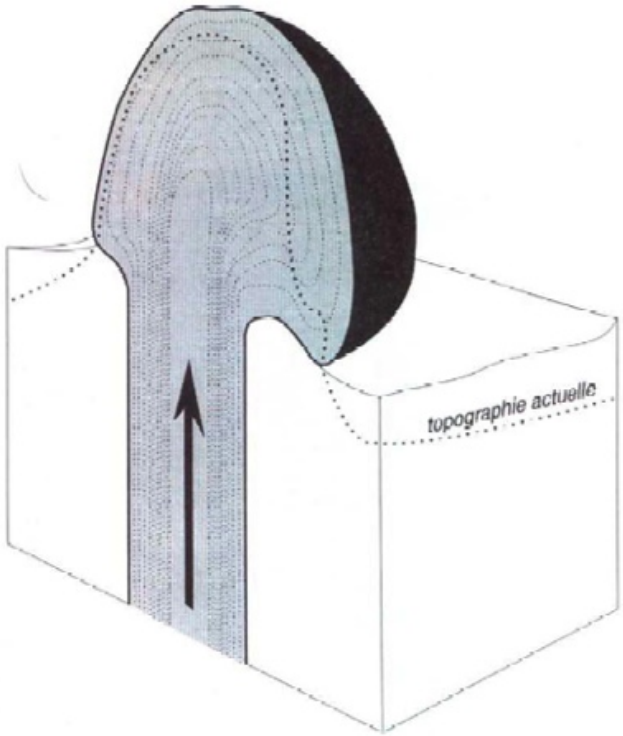
La morphologie des coulées de lave

Exemple : la coulée de la carrière d'Yssingeaux



Coupe théorique complète d'une coulée basaltique de vallée
d'après *Le volcanisme lexique*, CRDP Clermont-Ferrand, 1985

Les dômes trachytiques



Dômes et prismation

Quatrième partie IV

Conclusions

Le Massif Central, une collection de volcans

- Variété d'histoires et de morphologies des volcans :
  - Volcanisme fissural ;
  - Strato-volcans ;
  - Cônes stromboliens. . .
- Variété chimique et minéralogique des produits volcaniques :
  - Laves basaltiques peu différenciées, fluides ;
  - Laves différenciées visqueuses ;
  - Laves riches en gaz : ponces ; etc. . .
- Variété des paysages résultants :
  - Plateaux basaltiques ;
  - Dômes ;
  - Grands édifices $\pm$ démantelés.

Références bibliographiques

- Nehlig P. *et al.*, *Les volcans du Massif Central*. Revue Géologues, 2003.
- Bonin B., *La pétrologie*. Collection 128, Nathan Université, 1999.
- Bonin B., *Magmatisme et roches magmatiques*. Dunod, 2004.
- Lallemand S. *et coll.*, *Convergence lithosphérique*. Vuibert, 2005.
- Pons J.-C., *La pétro sans peine 1 - minéraux et roches magmatiques*. Editions du CRDP, académie de Grenoble, Collection Focus, 2001.