

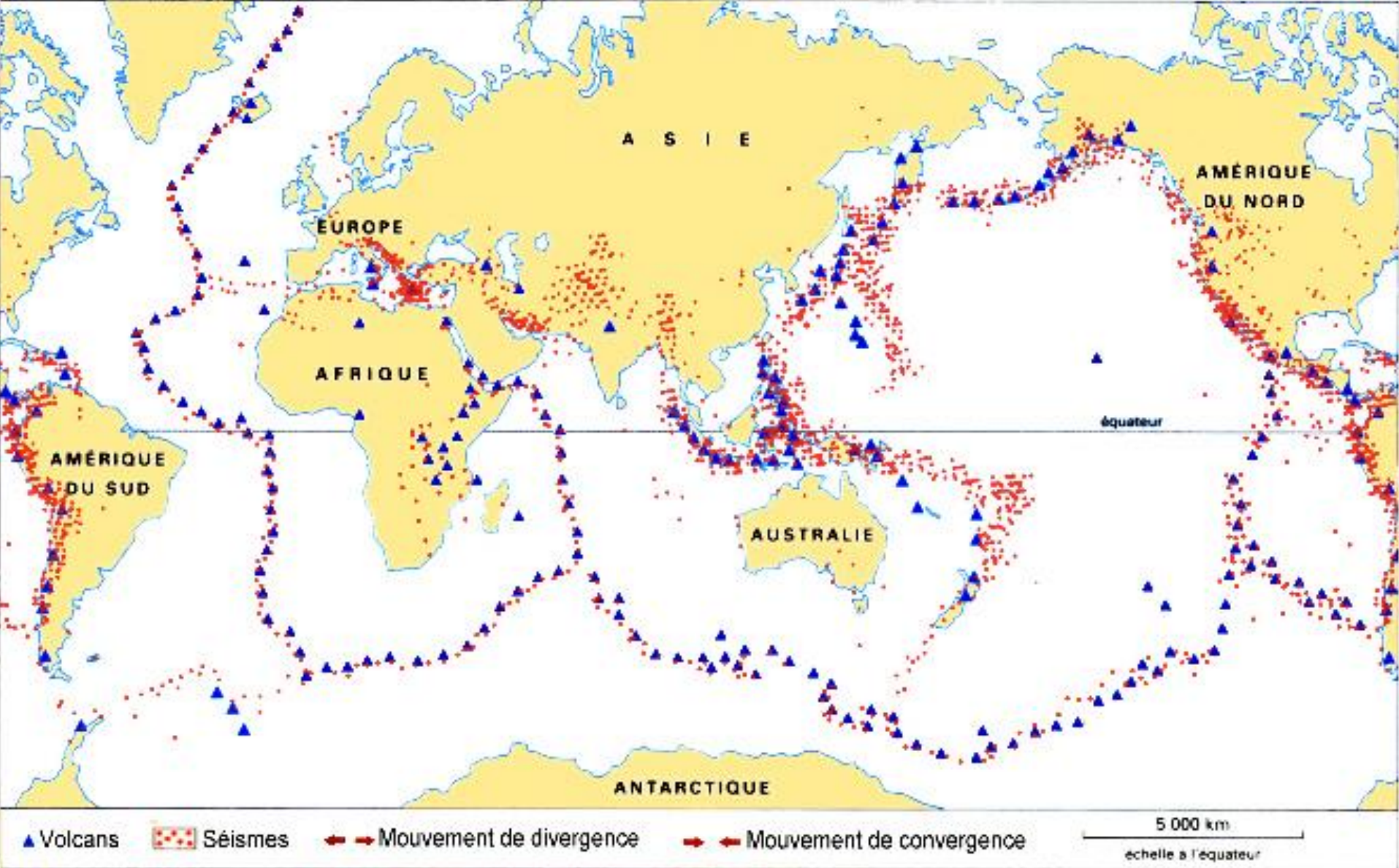
ST F : Le magmatisme



ST F 1 :

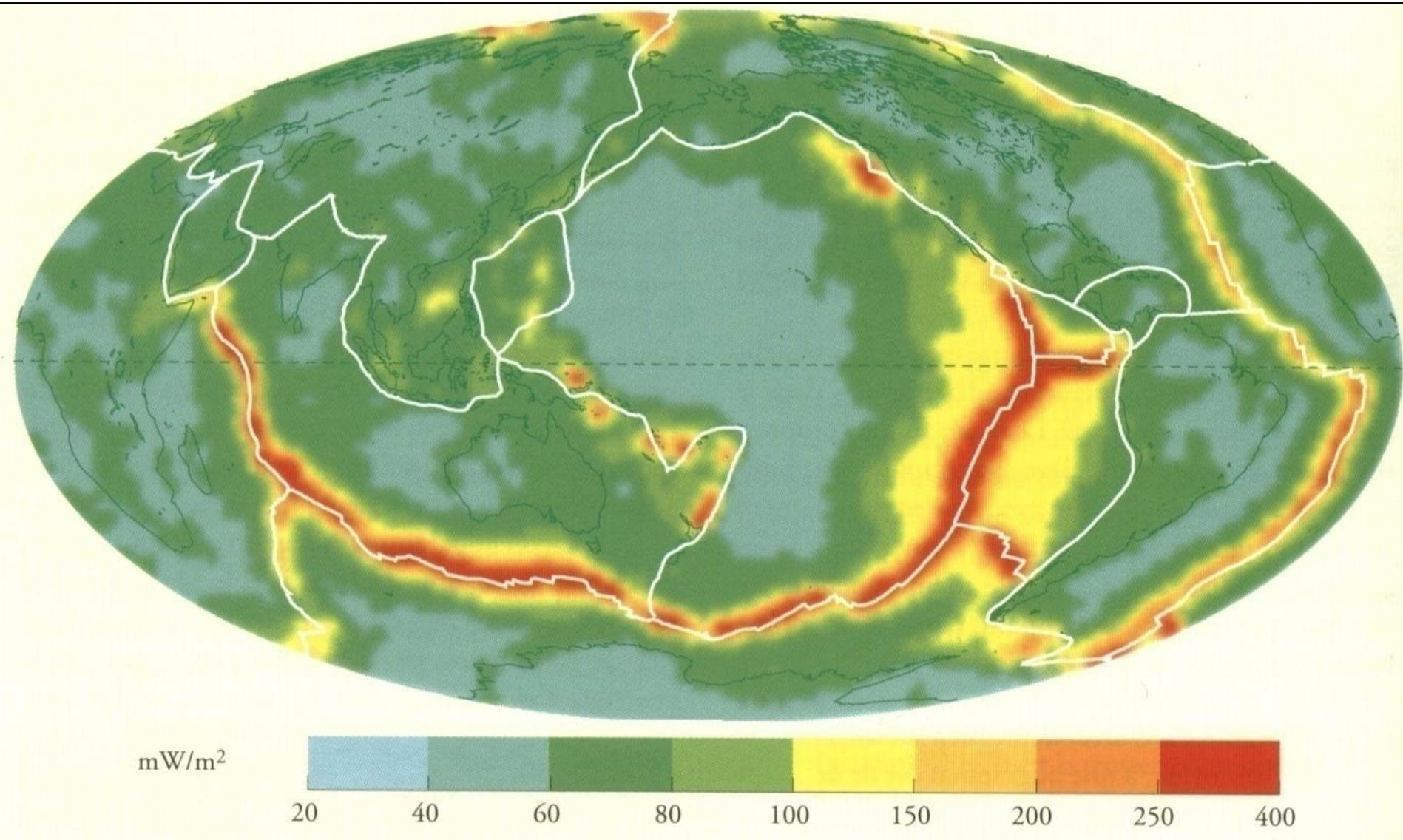
Etna, 2/10/05

La mise en place des magmas



Répartition des séismes et des volcans actifs

Carte mondiale du flux géothermique

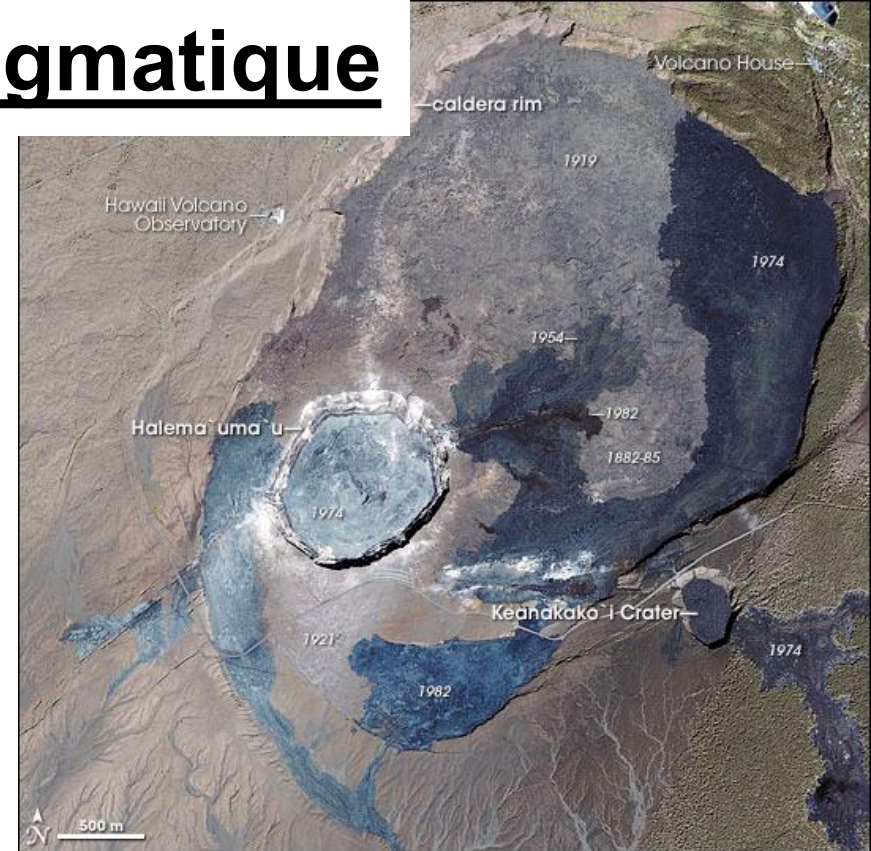


I. La trace de l'activité magmatique

1. Traces directes

Volcans actifs :

- effusifs (ex : Kilauea)
- explosifs (Mt Saint Helens)





Photographie : Michel Detav

Vue d'ensemble d'un champ de fumarolles sur le Vulcano (Italie)

Fumerolles = gaz s'échappant de fissures
à T° élevée : 300 à 1000 °C, % SO₂ parfois élevé

Solfatares = gaz à T° plus faible et 90 % H₂O +
CO₂, CH₄, H₂S...

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

Détail des
fumerolles
déposant des
cristaux de soufre.



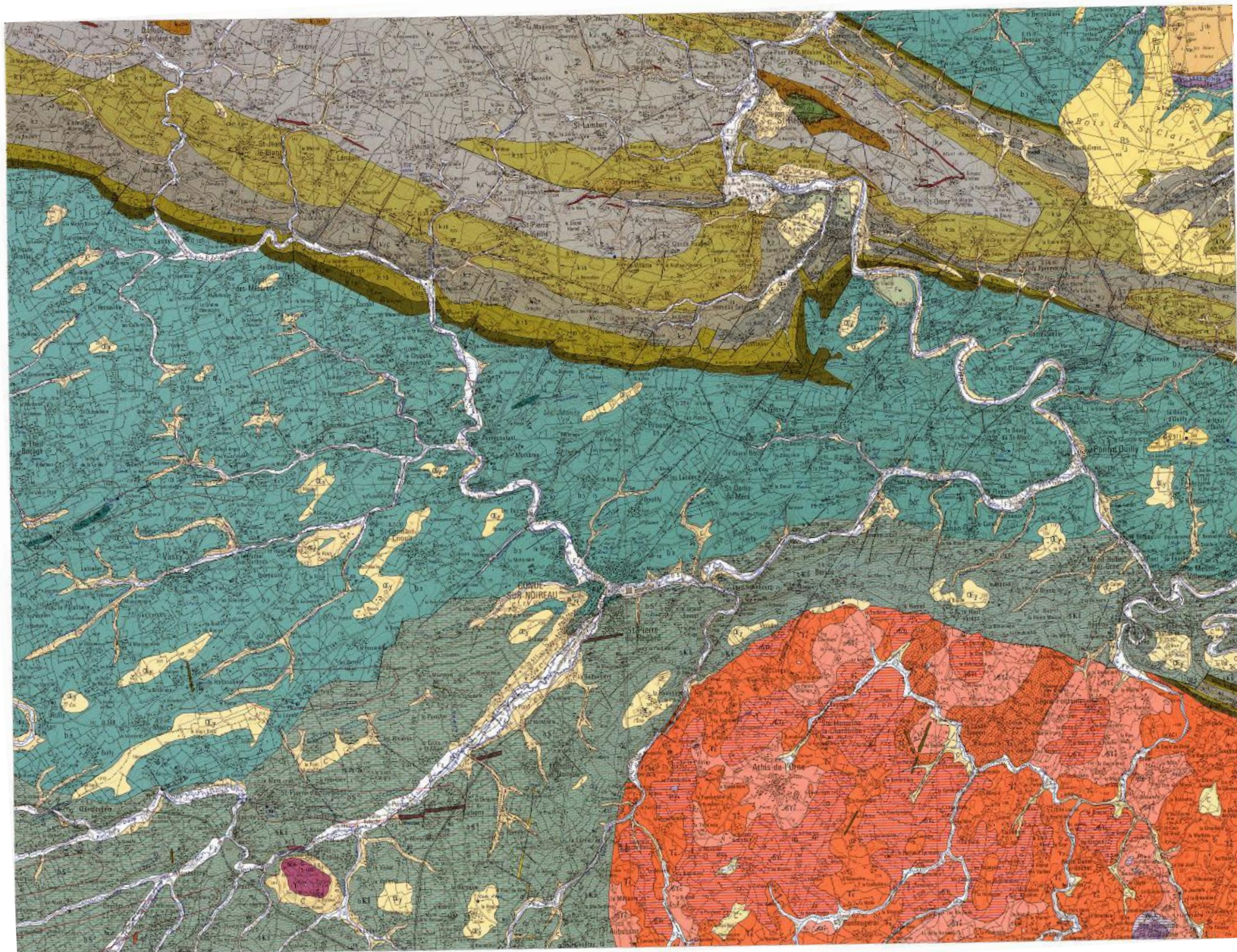
Photographie : Michel Detav

géologique de Clermont



Un filon dans
un affleurement
de granite

2. Traces indirectes



Carte de Condé sous Noireau



Document 1. Coupe au niveau du massif granitique d'Athis





Document 2.

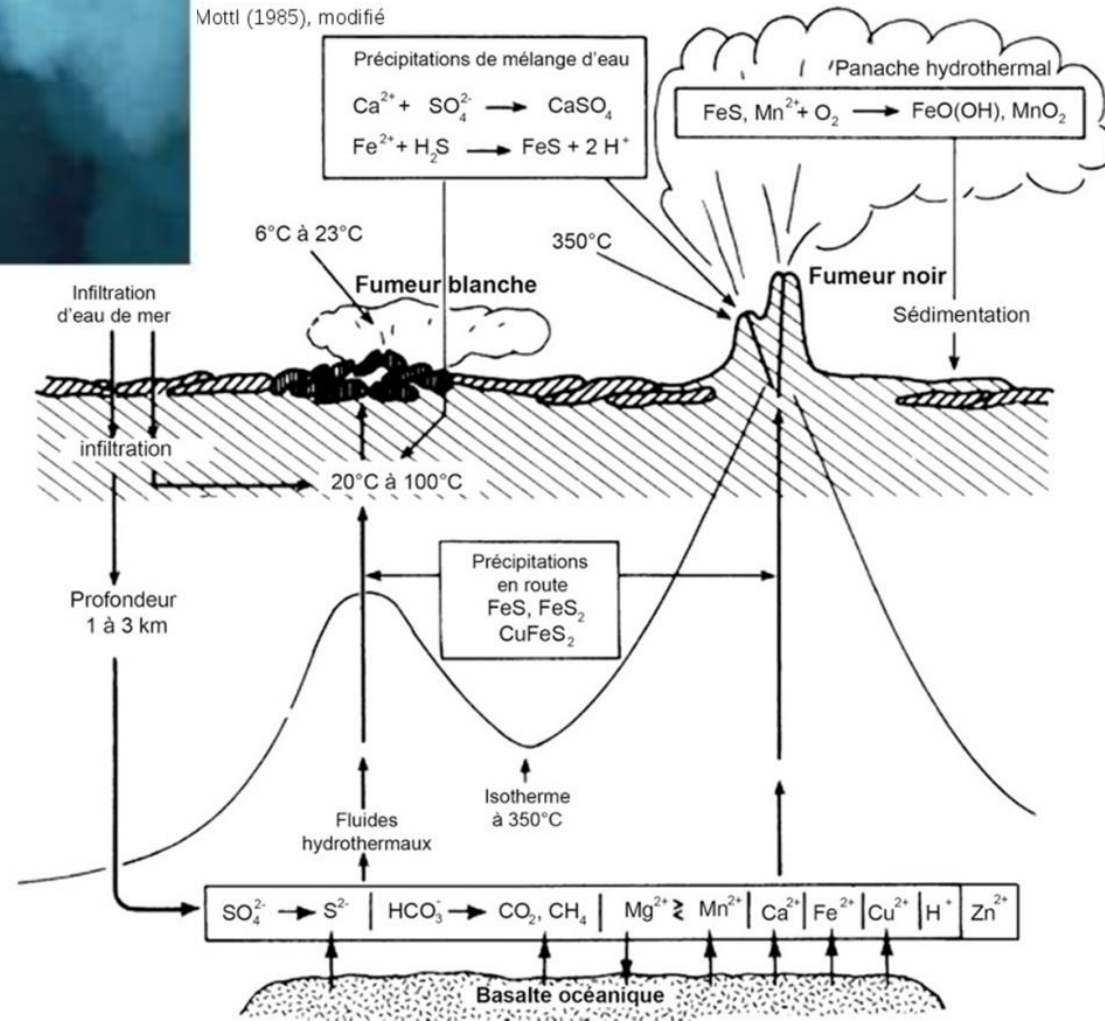
Hydrothermalisme océanique :

Fumeurs blancs et noirs.



© Photo Ifremer

Mottl (1985), modifié





L'hydrothermalisme en domaine continental

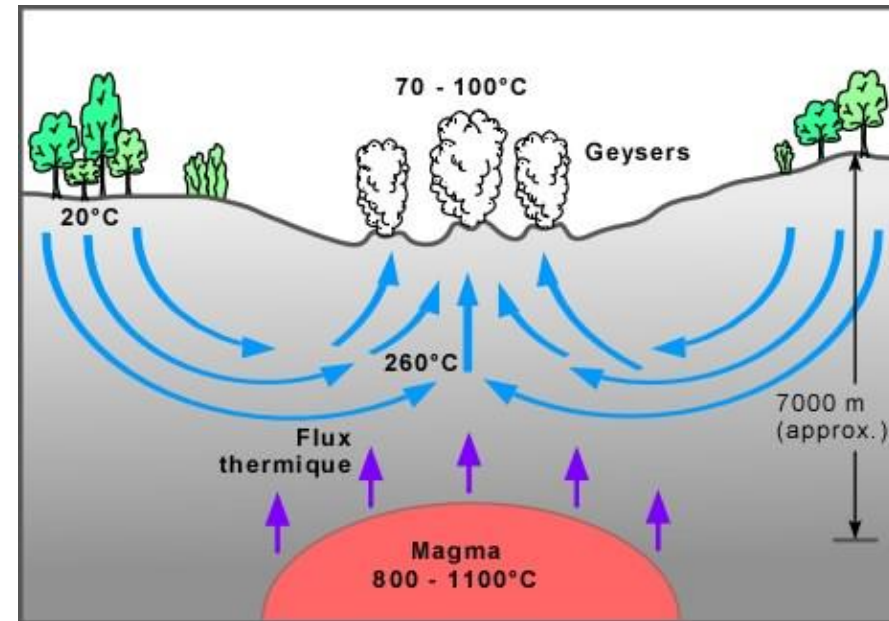
Chaudes-Aygues, station hydrothermale connue depuis l'antiquité, elle possède une trentaine de source d'eau chaude (45 à 82 °C).



Photo: P.-A. Bourque



Photo: P.-A. Bourque

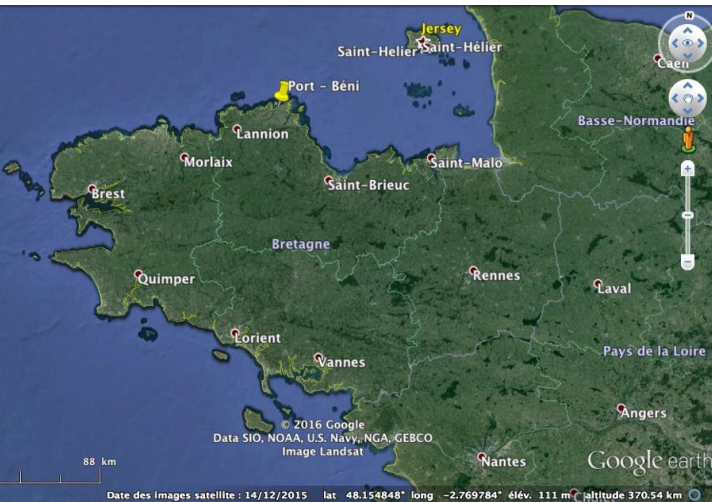


Parc de Yellowstone

Le fameux geyser « the old faithful » qui fait éruption avec une périodicité d'environ 1 h.

<http://www2.ggl.ulaval.ca/personnel/bourque/s3/ea ux.souterraines.html>

L'unité des gneiss de Port-Béni (Côtes d'Armor) : les plus vieilles roches de France (- 1,8 Ga)



Localisation



Vue d'ensemble de l'affleurement

Différentes lithologies sont présentes, notamment une roche de teinte gris-rose, présentant une foliation soulignée par les amas de biotite, de gros minéraux blanc-roses déformés dans la foliation (des feldspaths potassiques), du quartz, des plagioclases : cette roche est un gneiss.

La taille des F_K indique qu'ils n'ont pu cristalliser que lors de processus magmatiques : le protolithe de cette roche est interprété comme étant une roche magmatique (une granodiorite porphyroïde) : on parle d'orthogneiss.



...À partir des informations de la carte géologique



...À l'échelle de l'affleurement, de l'échantillon



Enclave de (cornéenne) et filons de granite clair dans un galet de granite de Flamanville (Manche).



Enclaves de cornéenne, granite de Ploumanach'.



Filon de granite dans des roches métamorphiques.



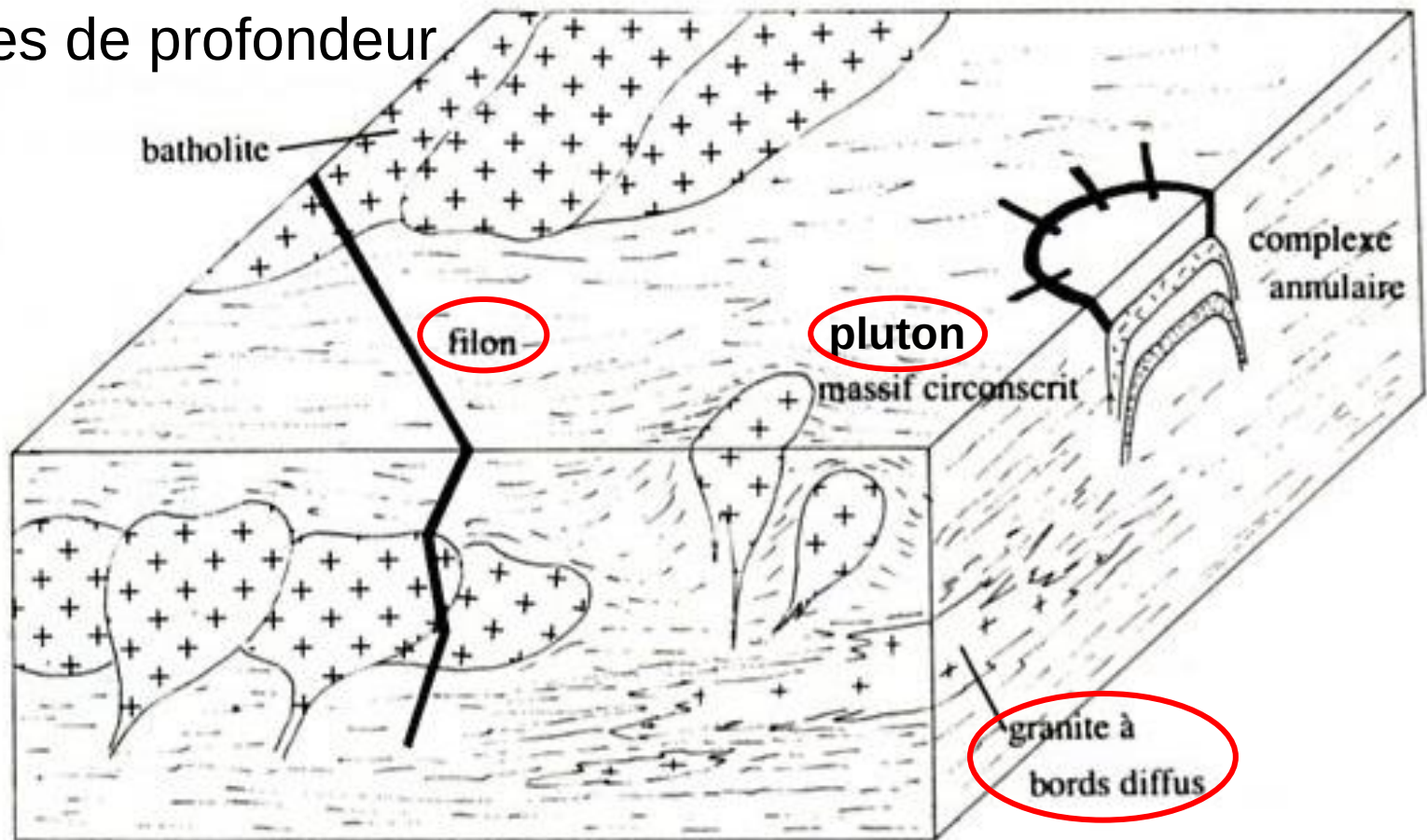
Coulée de lave, dépôts volcano-sédimentaires faillés et filon d'obsidienne, route de Las Vegas à la Vallée de la Mort.

II. Diversité des modes d'expression des magmas aux différentes échelles

1. Diversité structurale

a. Diversité structurale à l'échelle des édifices

- Les roches de profondeur



Document 4 : Différents types d'édifices plutoniques.

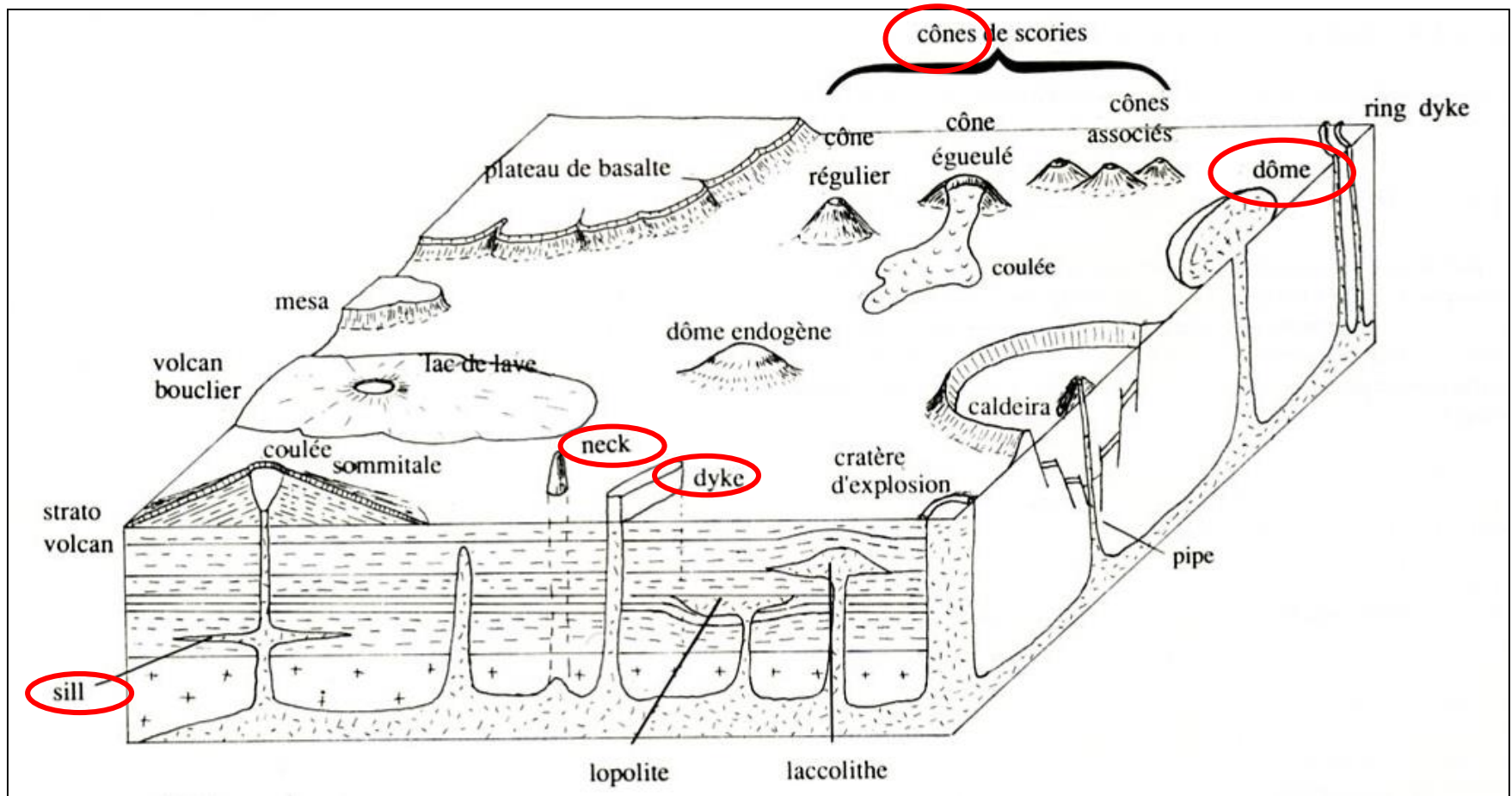
(Caron J.M. et Coll. " Comprendre et enseigner la planète Terre ", Ophrys Ed.)

Batholite de granodiorite (Sierra Nevada, Californie)



a. Diversité structurale à l'échelle des édifices

- Les roches de surface ou de subsurface



Document 5 : Diversité des édifices magmatiques.

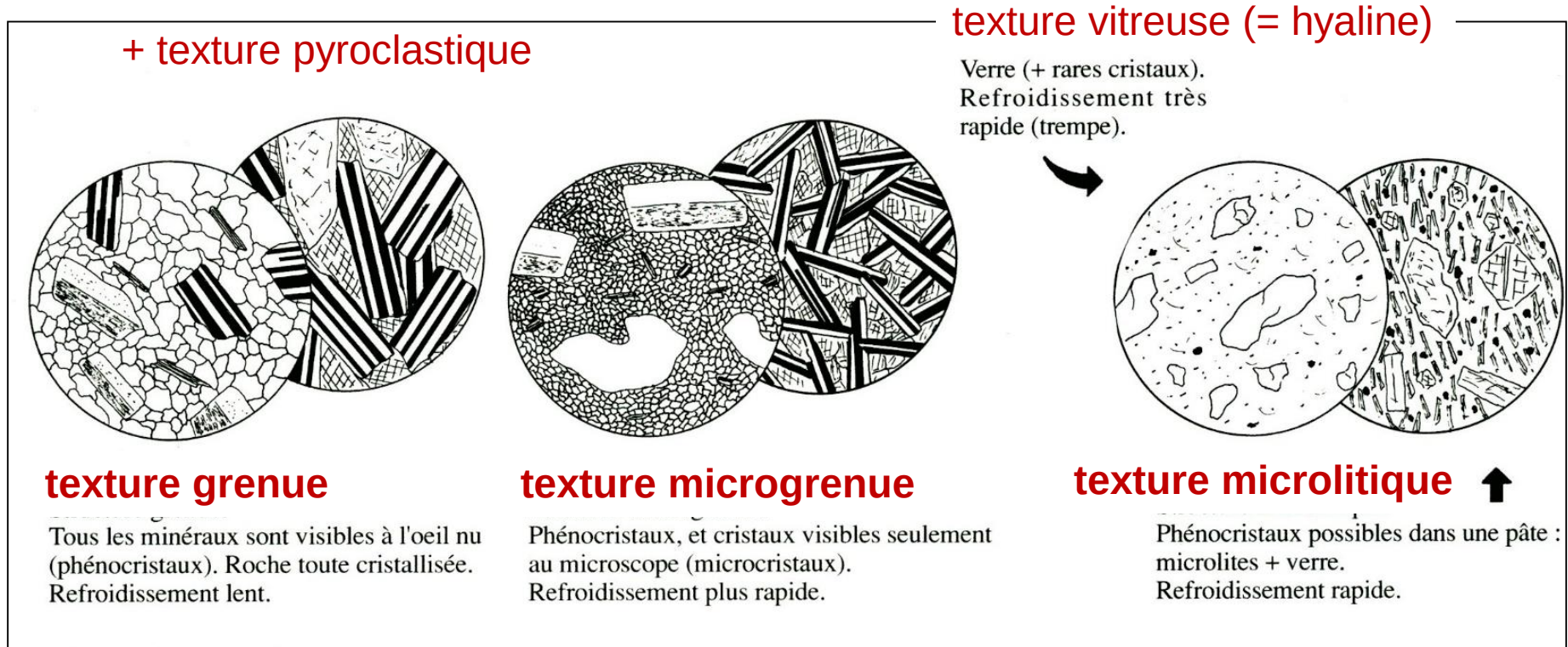
(Caron J.M. et Coll. " Comprendre et enseigner la planète Terre ", Ophrys Ed.)



Les trapps du Deccan :
Des nappes superposées,
répandues sur de grandes
surfaces.



b. Diversité structurale à l'échelle des roches : la texture



Document 6. Différentes textures des roches magmatiques

La texture de la roche dépend :

- de la vitesse de refroidissement du magma, liée au contraste de température entre magma (de température initiale comprise entre 700 à 1 200 °C selon le cas) et l'encaissant,
- et du volume du magma.

(Caron J.M. et Coll. " Comprendre et enseigner la planète Terre ", Ophrys Ed.)

2. Diversité chimique et minéralogique

Composition minéralogique <i>observée</i> modale (%)		Composition minéralogique virtuelle <i>calculée</i> (norme) (%)		
Phénocristaux	7,8	Quartz	2,42	Minéraux clairs
Dont :		Orthose	24,56	
Feldspath (Na-K)	6,6	Albite	53,83	
Pyroxène	0,2	Anorthite	7,42	
Quartz	1	Diopside	3,56	
Microlithes	92,2	Hypersthène	0,29	Minéraux sombres
Dont :		Magnétite	6,17	
Feldspath (Na-K)	74,2	Ilménite	1,52	
Pyroxène	13,0	Apatite	0,24	
Opaques	3,5			
Quartz	1,5			

Document 7. Compositions modale et normative d'une roche échantillonnée au Piton des Neiges (la Réunion).

2. Diversité chimique et minéralogique

$$\Sigma = 2,42 + 24,56 + 53,83 + 7,42 = 88,23$$

Composition minéralogique modale (%)		Composition minéralogique virtuelle (norme) (%)	
Phénocristaux	7,8	Quartz	2,42
Dont :		Orthose	24,56
Feldspath (Na-K)	6,6	Albite	53,83
Pyroxène	0,2	Anorthite	7,42
Quartz	1	Diopside	3,56
Microlithes	92,2	Hypersthène	0,29
Dont :		Magnétite	6,17
Feldspath (Na-K)	74,2	Ilménite	1,52
Pyroxène	13,0	Apatite	0,24
Opaques	3,5		
Quartz	1,5		

Document 7. Compositions modale et normative d'une roche échantillonnée au Piton des Neiges (la Réunion).

2. Diversité chimique et minéralogique

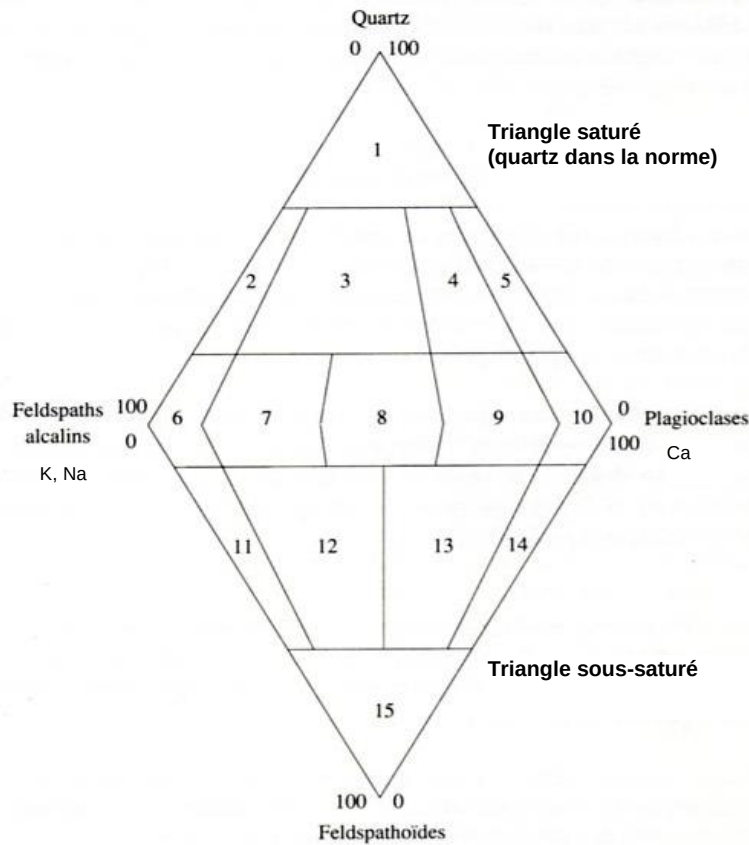
$$\Sigma = 2,42 + 24,56 + 53,83 + 7,42 = 88,23$$

Composition minéralogique modale (%)		Composition minéralogique virtuelle (norme) (%)		
Phénocristaux	7,8	Quartz	2,42	3 %
Dont :		Orthose	24,56	89 %
Feldspath (Na-K)	6,6	Albite	53,83	
Pyroxène	0,2	Anorthite	7,42	8 %
Quartz	1	Diopside	3,56	
Microlithes	92,2	Hypersthène	0,29	
Dont :		Magnétite	6,17	
Feldspath (Na-K)	74,2	Ilménite	1,52	
Pyroxène	13,0	Apatite	0,24	
Opaques	3,5			
Quartz	1,5			

Document 7. Compositions modale et normative d'une roche échantillonnée au Piton des Neiges (la Réunion).

Document 8.

Classification des roches à feldspaths et feldspathoïdes : classification de Streckeisen.



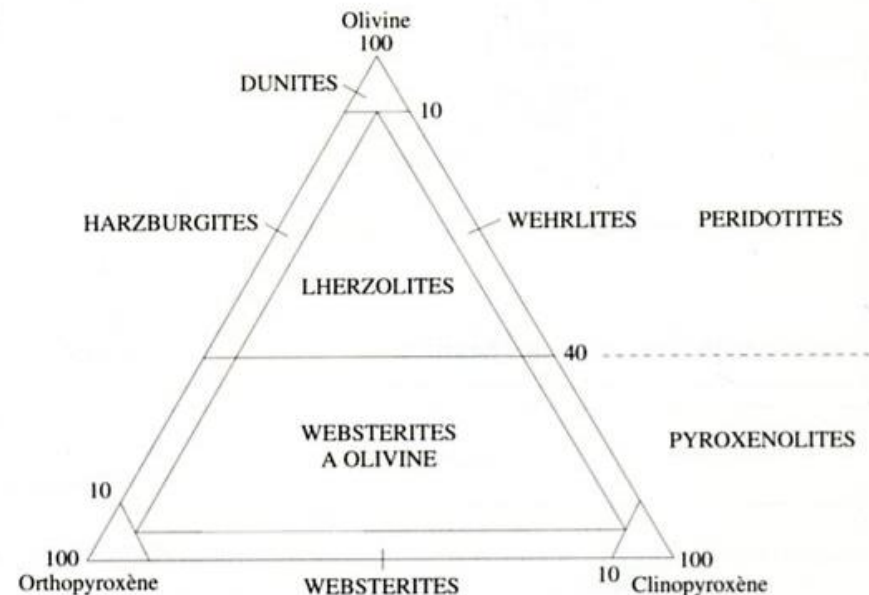
Classification de Streckeisen pour les roches plutoniques, étendue aux roches volcaniques.

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

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

Classification des mafites, roches ultrabasiques.

Pour les roches sans minéraux blancs (moins de 10%) (roches ultrabasiques), on utilise les proportions d'olivine, orthopyroxène ou clinopyroxène.



	granite	basalte
SiO ₂	73,86	50,15
TiO ₂	0,20	1,84
Al ₂ O ₃	13,75	16,04
Fe ₂ O ₃	0,78	3,86
Fe ₂	1,13	7,27
MnO	0,05	0,20
MgO	0,26	6,86
CaO	0,72	9,65
Na ₂ O	3,51	2,97
K ₂ O	5,13	1,16

**Document 9. Composition chimique moyenne
d'un granite et d'un basalte.**

La composition chimique de ces roches est exprimée en pourcentages massiques.

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

Document 10. Critères de classification des roches magmatiques

- L'acidité :

roches acides :	$\text{SiO}_2 > 65 \%$
roches intermédiaires :	$52 \% < \text{SiO}_2 < 65 \%$
roches basiques :	$45 \% < \text{SiO}_2 < 52 \%$
roches ultrabasiques :	$\text{SiO}_2 < 45 \%$

- La saturation : elle prend en compte l'expression minéralogique de la richesse en SiO_2 .

Une roche à quartz est sursaturée en SiO_2 .

Une roche à feldspathoïdes est sous-saturée en SiO_2 .

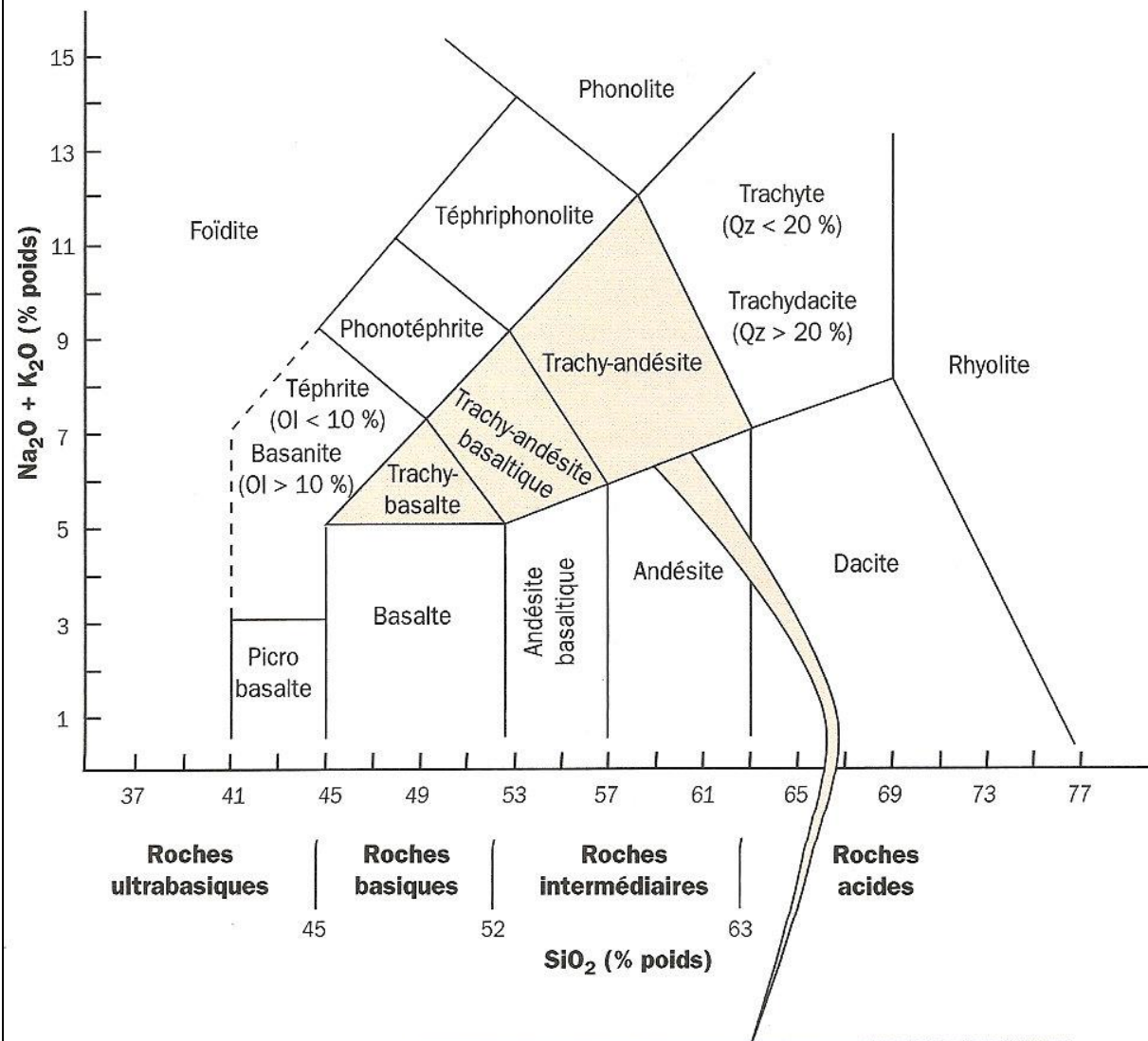
- L'alcalinité : Les roches sont alcalines lorsqu'elles contiennent des feldspaths potassiques et sodiques.
Elles sont calco-alcalines lorsqu'elles contiennent ces feldspaths associés à des plagioclases.
Elles sont calco-sodiques lorsqu'elles ne contiennent que des plagioclases.

- La coloration en fonction du pourcentage de ferromagnésiens :

roches hololeucocrates (blanches)	0 à 12,5 %
roches leucocrates	12,5 à 37,5 %
roches mésocrates	37,5 à 62,5 %
roches mélanocrates	62,5 à 87,5 %
roches holomélanocrates (noires)	87,5 à 100 %

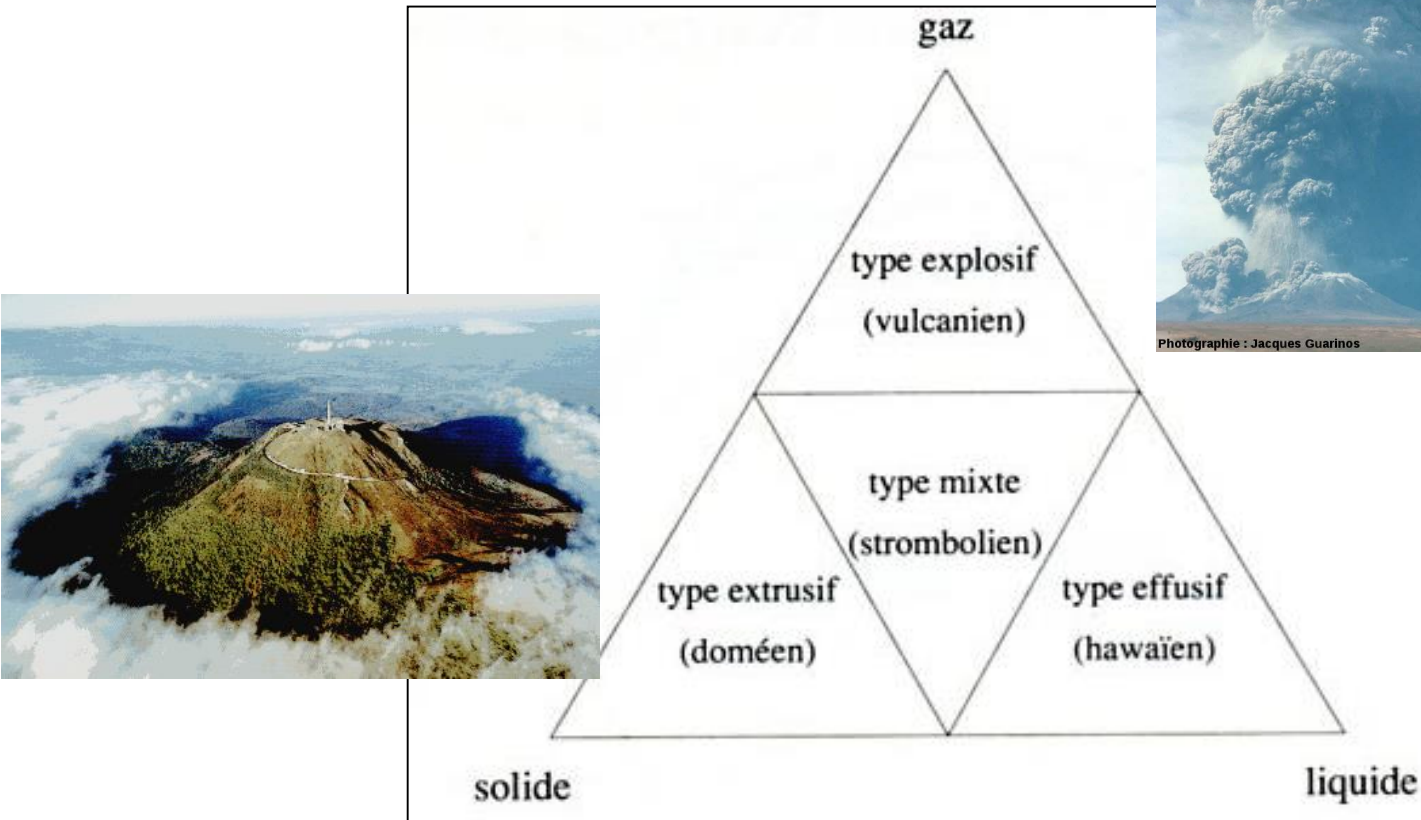
Document 11. Classification chimique des roches volcaniques dans un diagramme TAS (Total Alkali Silicate).

(Robert C. et Bousquet R.
« Géosciences : la dynamique du
système Terre » Belin, 2013).



Subdivisions du champ coloré	Trachybasalte	Trachy-andésite basaltique	Trachy-andésite
$\text{Na}_2\text{O} - 2,0 \geq \text{K}_2\text{O}$	Hawaïite	Mugéarite	Benmoréite
$\text{Na}_2\text{O} - 2,0 < \text{K}_2\text{O}$	Trachybasalte potassique	Shoshonite	Latite

3. Diversité de dynamisme éruptif

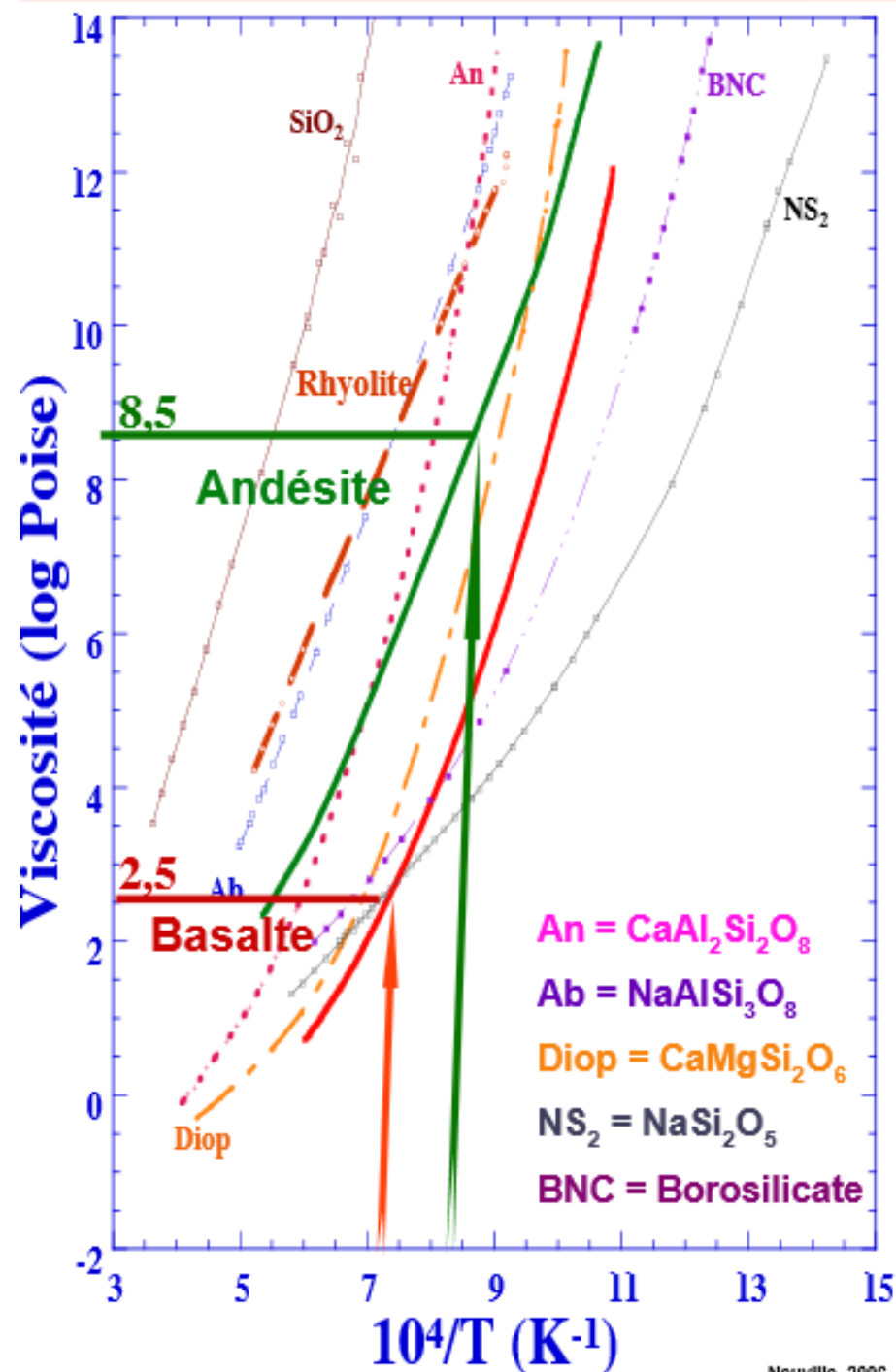


Document 12 : Quelques types d'activités magmatiques.

(Caron J.M. et Coll. " Comprendre et enseigner la planète Terre ", Ophrys Ed.)

Température et viscosité des laves.

- T° lave basaltique : 1100 °C, viscosité faible
- T° lave andésitique : 900 °C, viscosité élevée.



La viscosité d'un magma varie en fonction de :

- **la teneur en eau** qui facilite l'hydrolyse (décomposition d'un corps par fixation des ions H^+ et OH^- provenant de la dissociation de l'eau) de la silice et donc la fluidification du magma.

- **la température** (plus c'est chaud, plus c'est fluide). Les magmas basiques sont plus fluides car plus chauds ($1100^{\circ}C$ à $1250^{\circ}C$) que les magmas acides visqueux ($750^{\circ}C$ et $900^{\circ}C$).

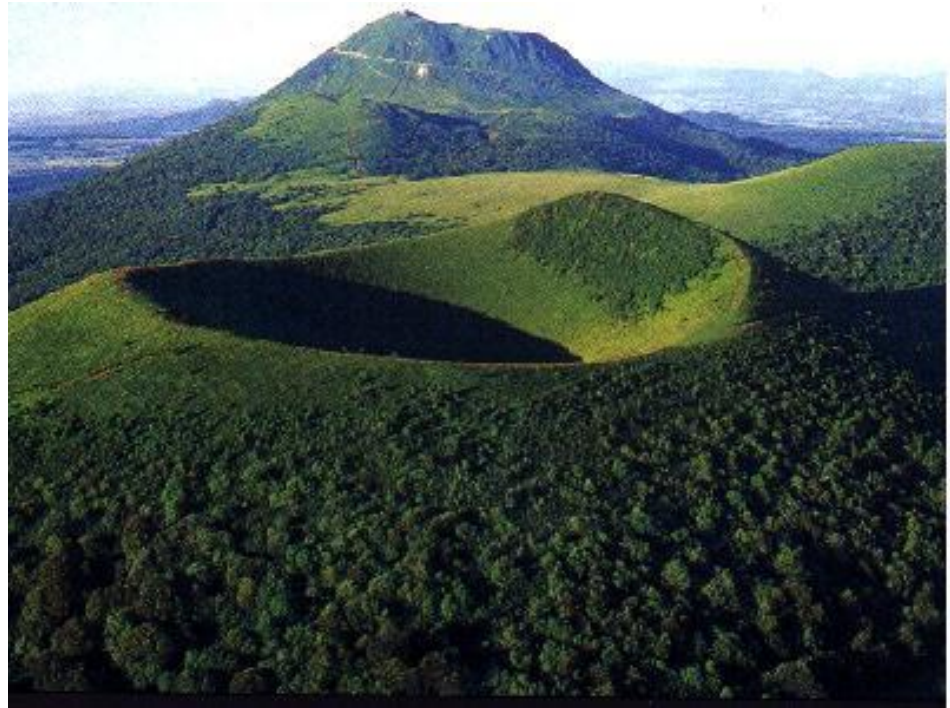
- **la teneur en gaz** (plus il y a de gaz plus c'est fluide). Cette caractéristique est à l'origine de la nature explosive ou effusive des volcans.

- **l'acidité du magma** (plus le magma est basique, c'est-à-dire moins il est riche en silice, plus il est fluide).

- **la présence de Na (sodium), Ca (calcium), Mg (magnésium), Fe (fer)** qui permettent la formation de petites chaînes et renforcent donc la fluidité.

III. Des roches magmatiques liées génétiquement

1. Unité de temps et unité de lieu : arguments pour une origine commune



Exemple de la
chaîne des Puys

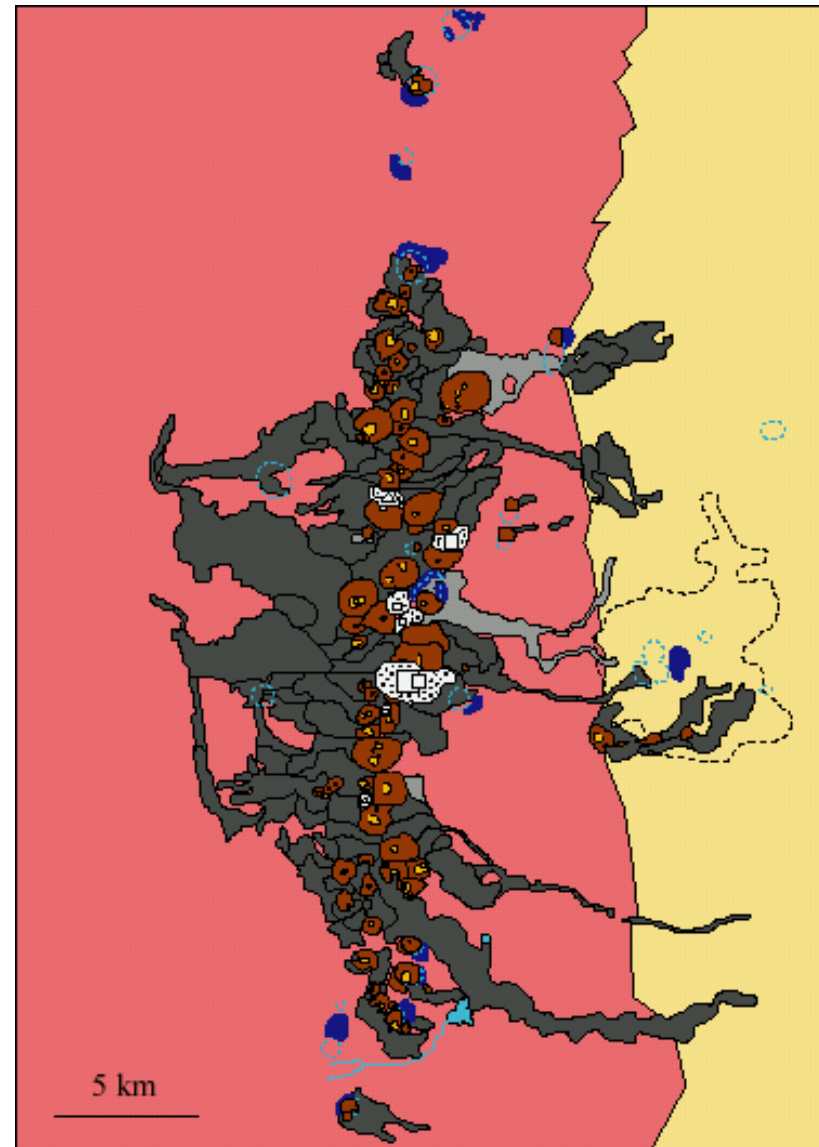


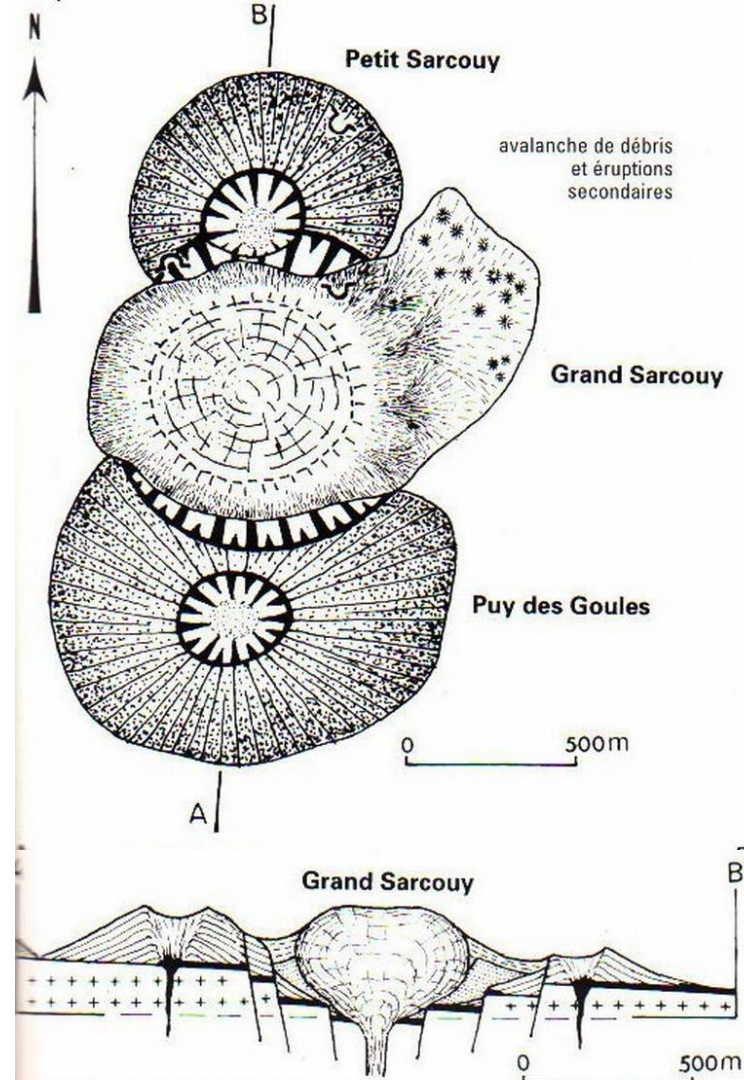
La chaîne des Puys vue par le satellite SPOT, le 10 novembre 1986

D'après André SIMONIN, Bulletin de l'APBG 2 bis, page 121, 1987.

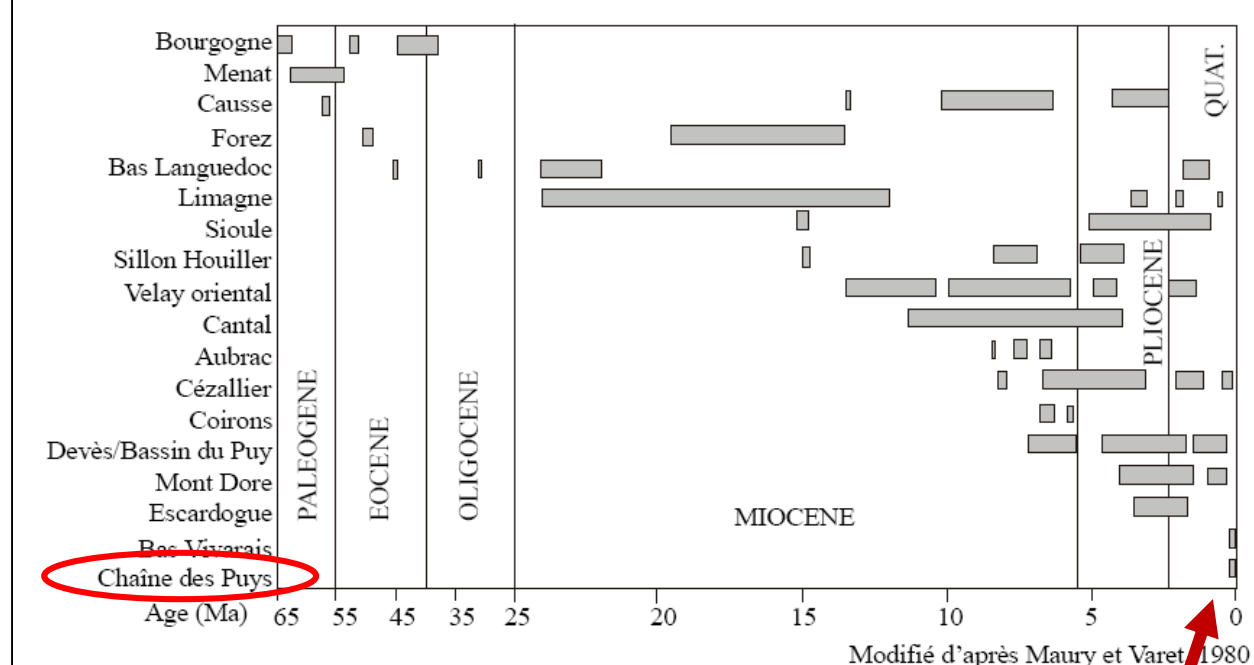
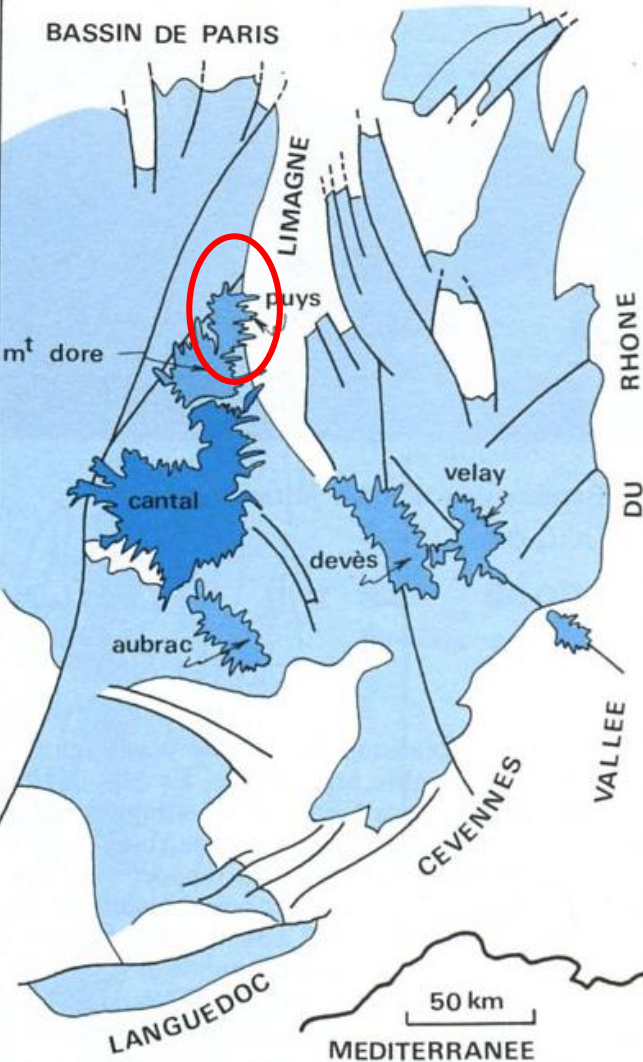
Carte géologique simplifiée de la chaîne des Puys

-  Cône de scories et sa coulée de lave basaltique
-  Cône de scories et sa coulée de lave trachyandésitique
-  Dôme de trachyte et ses produits d'explosion trachytiques
-  Protrusion de trachyte et ses produits d'explosion trachytiques
-  Maar et son croissant de produits d'explosion
-  Terrains sédimentaires (Fossé de la Limagne)
-  Terrains métamorphiques et granitiques (Plateau des Dômes)
-  Faille de la Limagne
-  Cours d'eau
-  Lac de barrage
-  CLERMONT-FERRAND





Modes de gisement : encore un argument pour une origine commune



Document 14. Age des principaux ensembles volcaniques du Massif Central.

(Nehlig P. et coll., 2003 in : <http://www2.brgm.fr/volcan/papgeologue.pdf>).

- 90 000 à - 8 000 ans

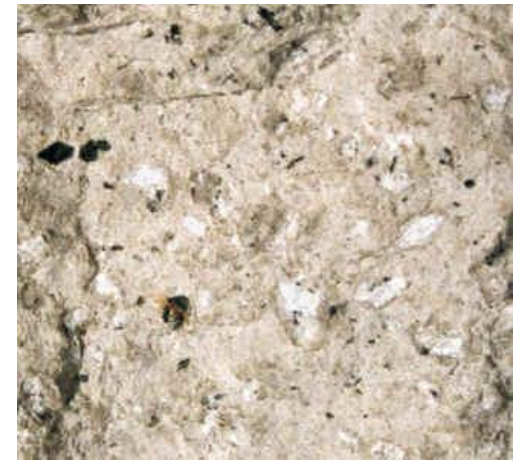
Document 13. Localisation des principaux édifices volcaniques récents du Massif Central français.

(Dercourt J., Paquet J., "Géologie : Objets et méthodes" Dunod Ed.).

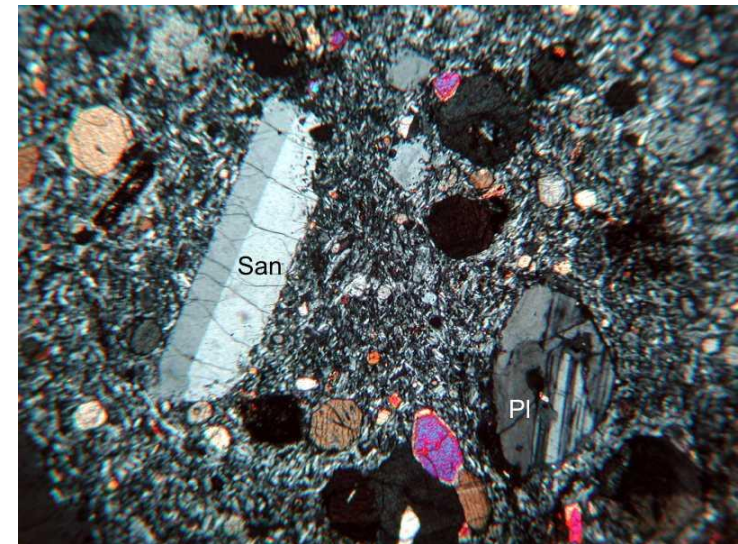
2. Continuum minéralogique et chimique : arguments pour une histoire conjointe



Basalte alcalin
de Saint-Saturnin



Trachyte



	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	MnO	P ₂ O ₅
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

- Composition chimique des « laves » représentatives de la chaîne de Puys :

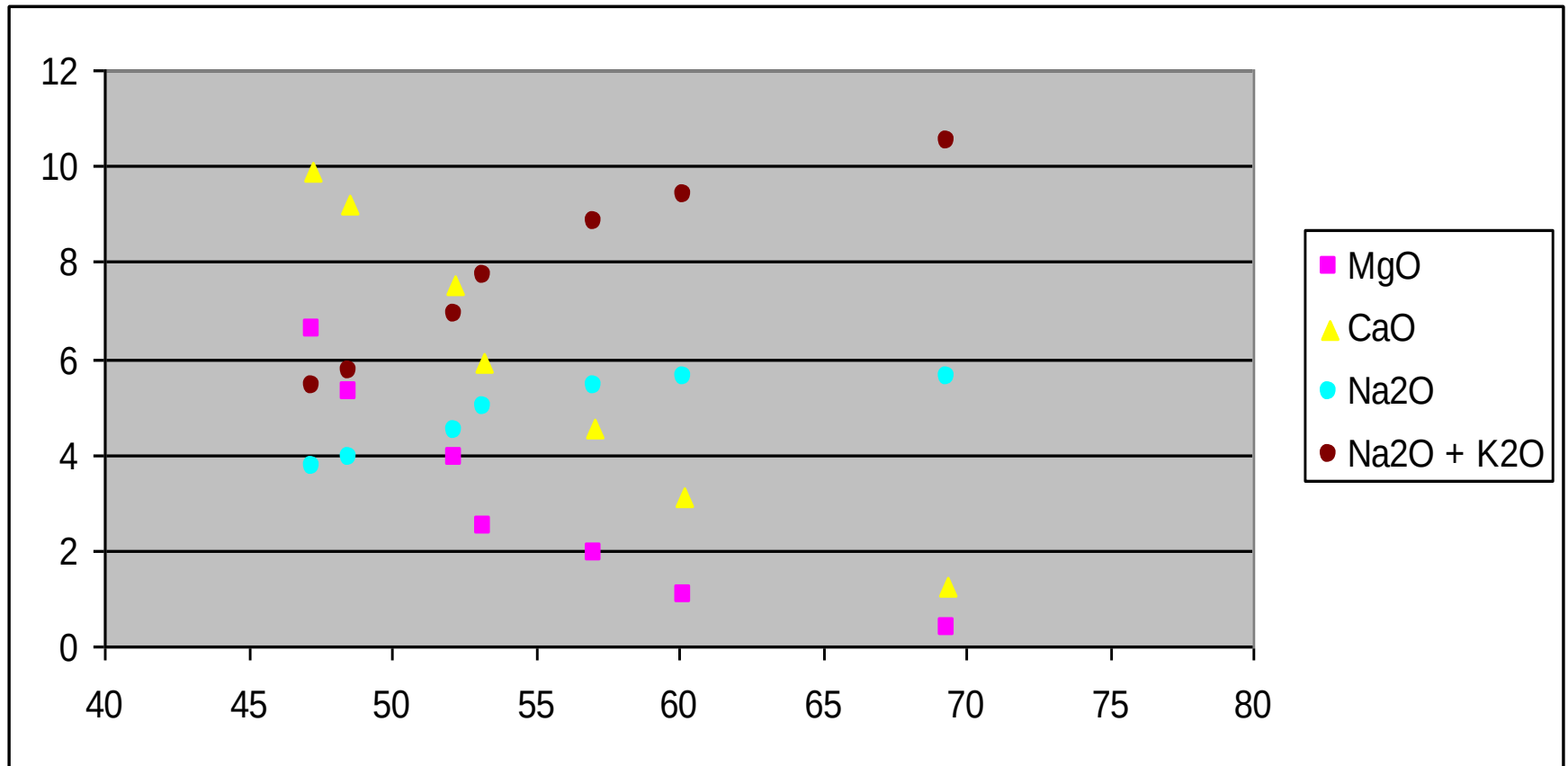
	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6	CP7
ID	36,31	40,61	51,74	56,78	67,01	75,45	90,86
SiO ₂	47,25	48,50	52,20	53,21	57,10	60,20	69,35
TiO ₂	2,25	2,16	1,81	1,49	1,12	0,83	0,39
Al ₂ O ₃	15,85	16,56	16,9	17,6	17,89	17,90	15,55
Fe ₂ O ₃ ^T	12,08	11,86	9,84	11,75	6,83	4,69	2,38
MnO	0,17	0,18	0,20	0,20	0,19	0,22	0,18
MgO	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).

Document 15. Compositions chimiques de laves représentatives de la série alcaline de la Chaîne des Puys.

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

→ continuum chimique



Evolution de MgO, CaO, Na₂O et Na₂O + K₂O
en fonction de SiO₂ pour la série étudiée

→ continuum chimique

- **Composition minéralogiques des « laves »
représentatives de la chaîne de Puys :**

- Basaltes alcalins : Ol, cpx, pgcl calciques
- Hawaïtes : (Ol), cpx, pgcl
- Mugéarites : pgcl (- calciques et + sodiques), amphiboles
- Trachytes : pgcl sodiques, amphiboles, F_K (sanidine), biotite

→ continuum minéralogique

Evolution des caractéristiques physiques des laves :

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

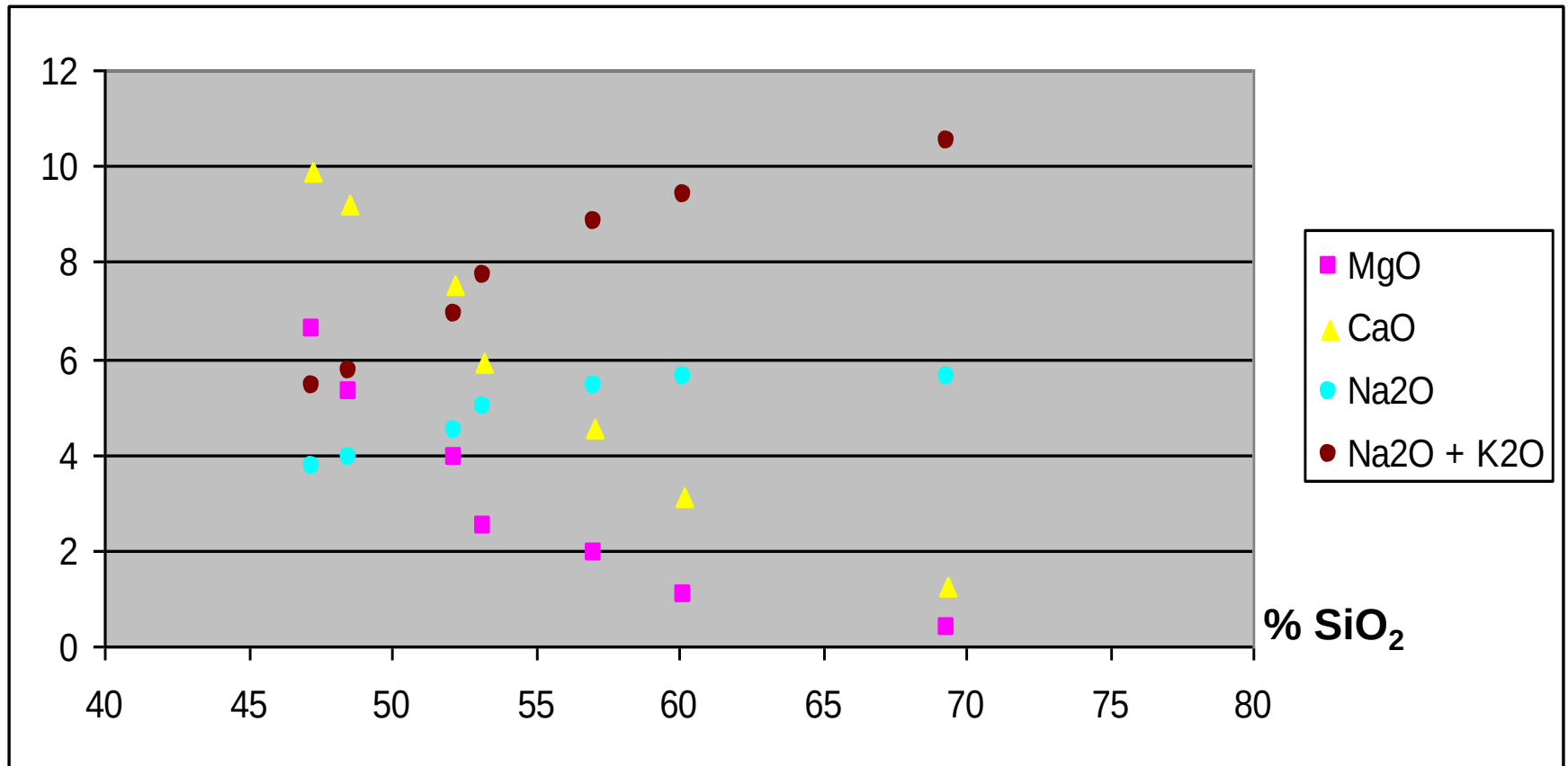
- **Unité de lieu**
- **Unité d'âge**
- **Continuum chimique, minéralogique
= unité magmatique**

**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**



Evolution de MgO, CaO, Na₂O et Na₂O + K₂O
en fonction de SiO₂ pour la série étudiée

Enrichissement en alcalins → série alcaline

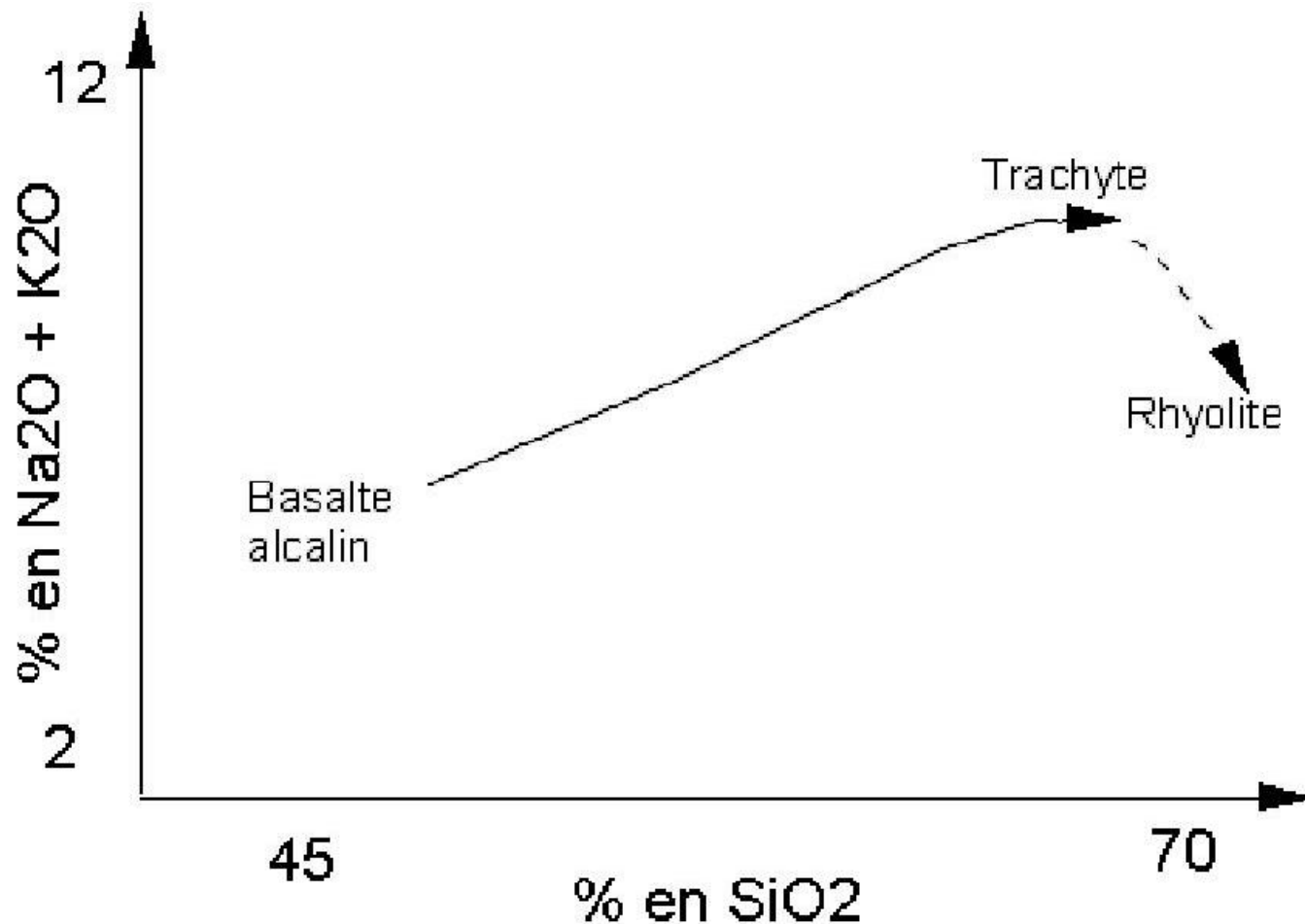
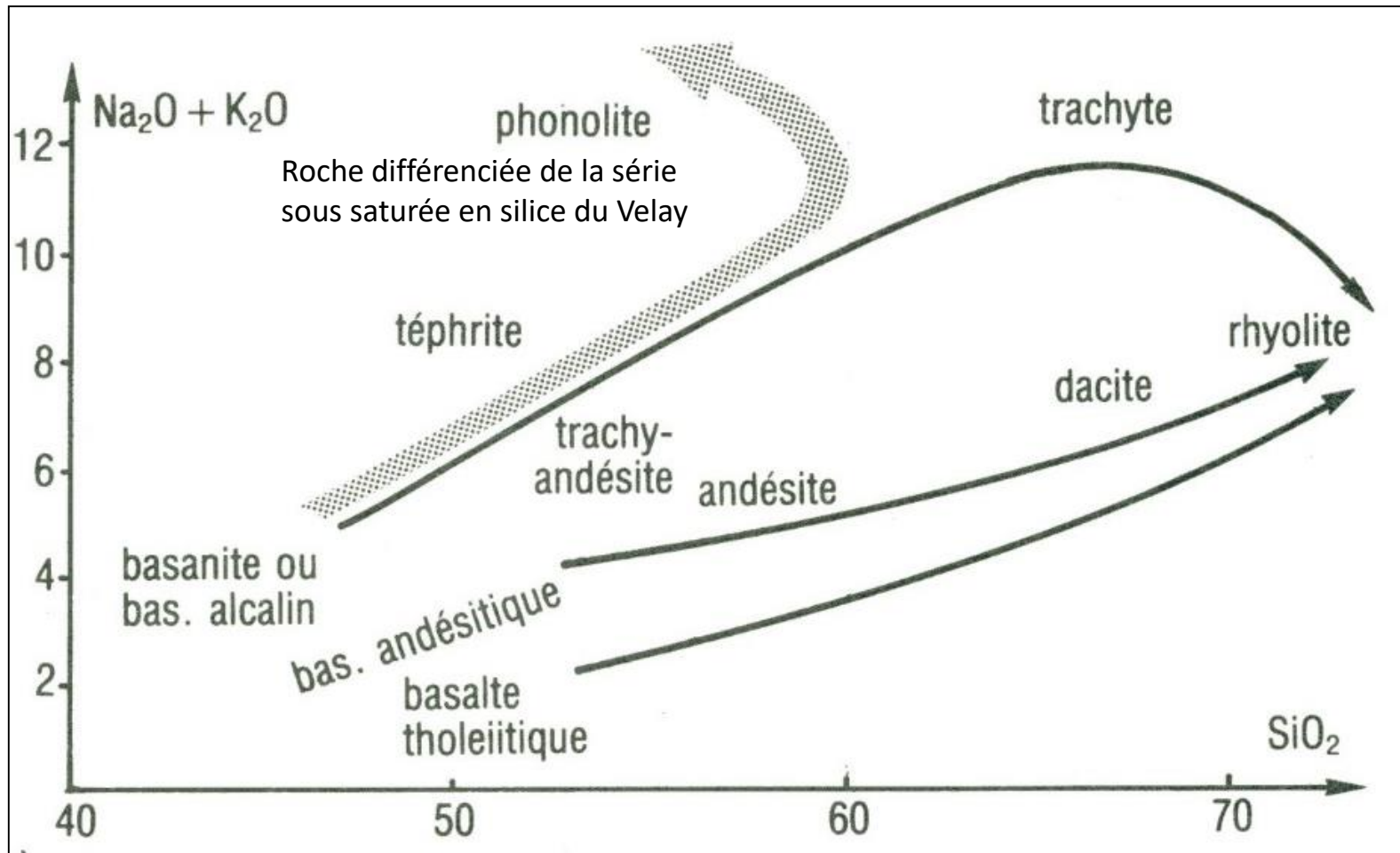


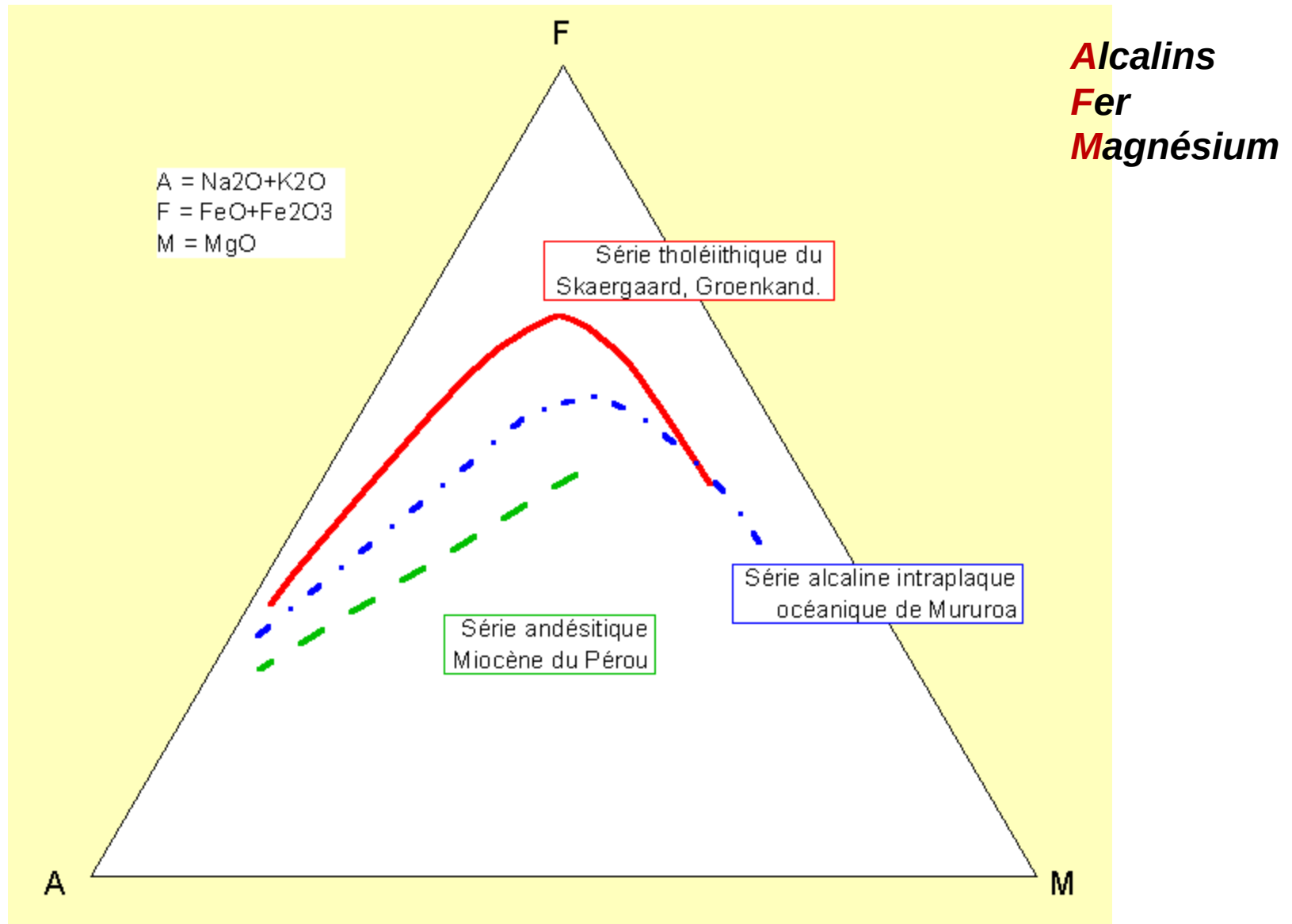
Diagramme d'évolution de $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$
en fonction de SiO_2 pour la série étudiée

Place de la série alcaline dans le diagramme de Harker



Document 16 : Situation des laves dans le diagramme (Na₂O + K₂O) / SiO₂.
(Bardintzeff J.M., dans " Enseigner la géologie ", Nathan Ed.)

Place de la série alcaline dans le diagramme AFM



Différenciation des laves représentatives d'une série :

- **Indice de différenciation ID :**

$$\text{ID} = \text{somme normative Q} + \text{Ab} + \text{orthose} \\ (\text{ou : néphéline} + \text{Ab} + \text{orthose})$$

- **Indice d'alcalinité Al :**

$$\text{Al} = (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}) / (\text{SiO}_2 - 43) \times 0,17$$

→ Construction du diagramme $\text{Al} = f(\% \text{Al}_2\text{O}_3)$

- **Diagramme de Harker :**

$$\% (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}) = f(\% \text{SiO}_2)$$