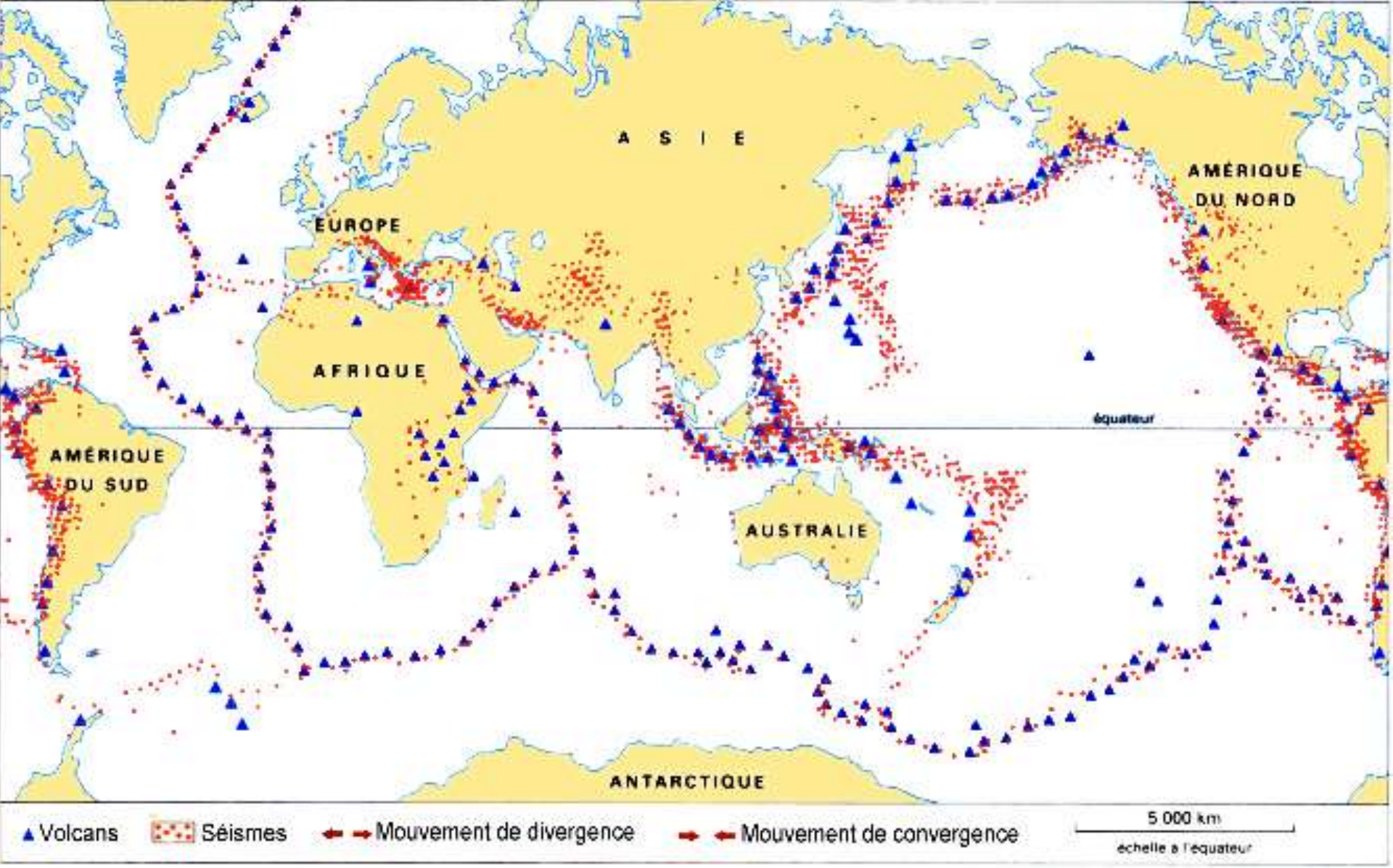
ST F : Le magmatisme

Etna, 2/10/05

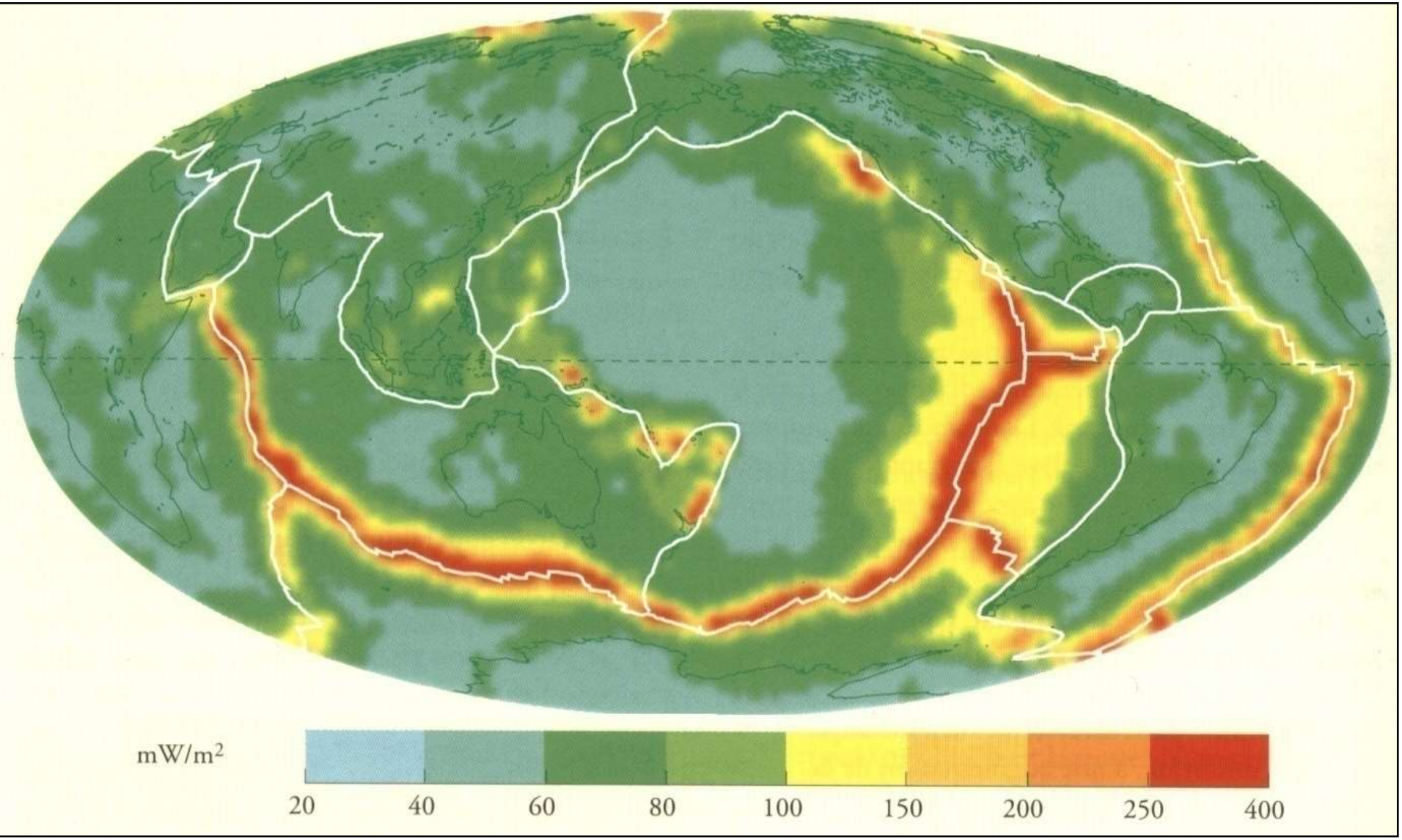
<u>ST F 1</u> :

La mise en place des magmas



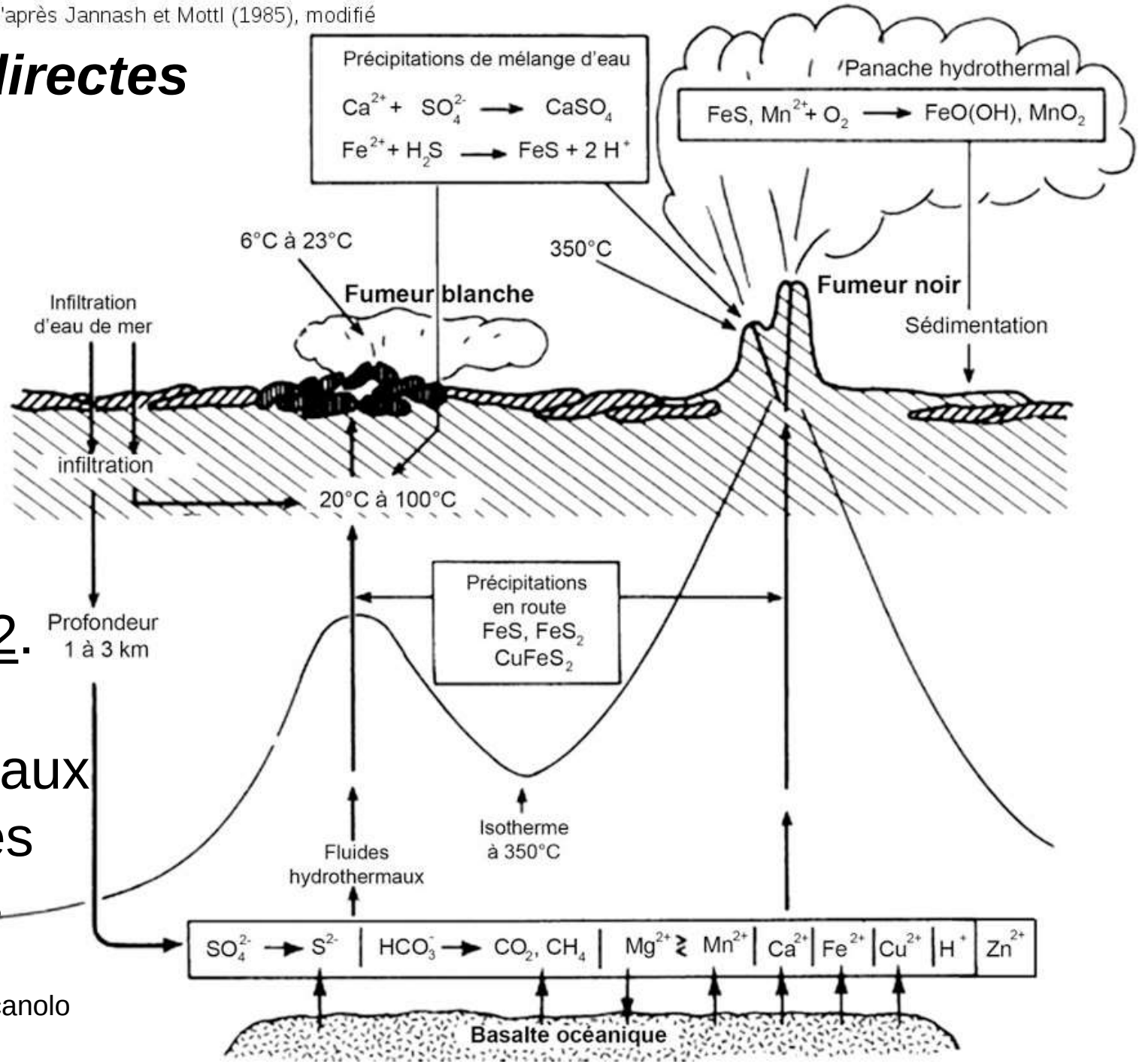
Répartition des séismes et des volcans actifs

Carte mondiale du flux géothermique



1. Traces directes

D'après Jannash et Mottl (1985), modifié



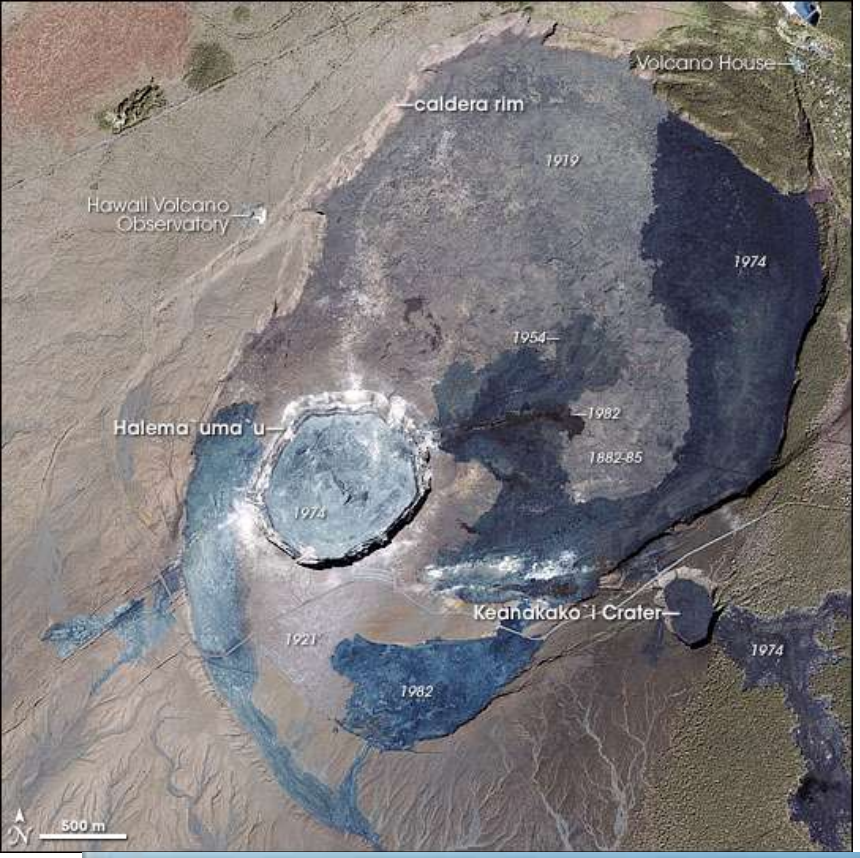
Document 2. Les évents hydrothermaux des dorsales océaniques

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

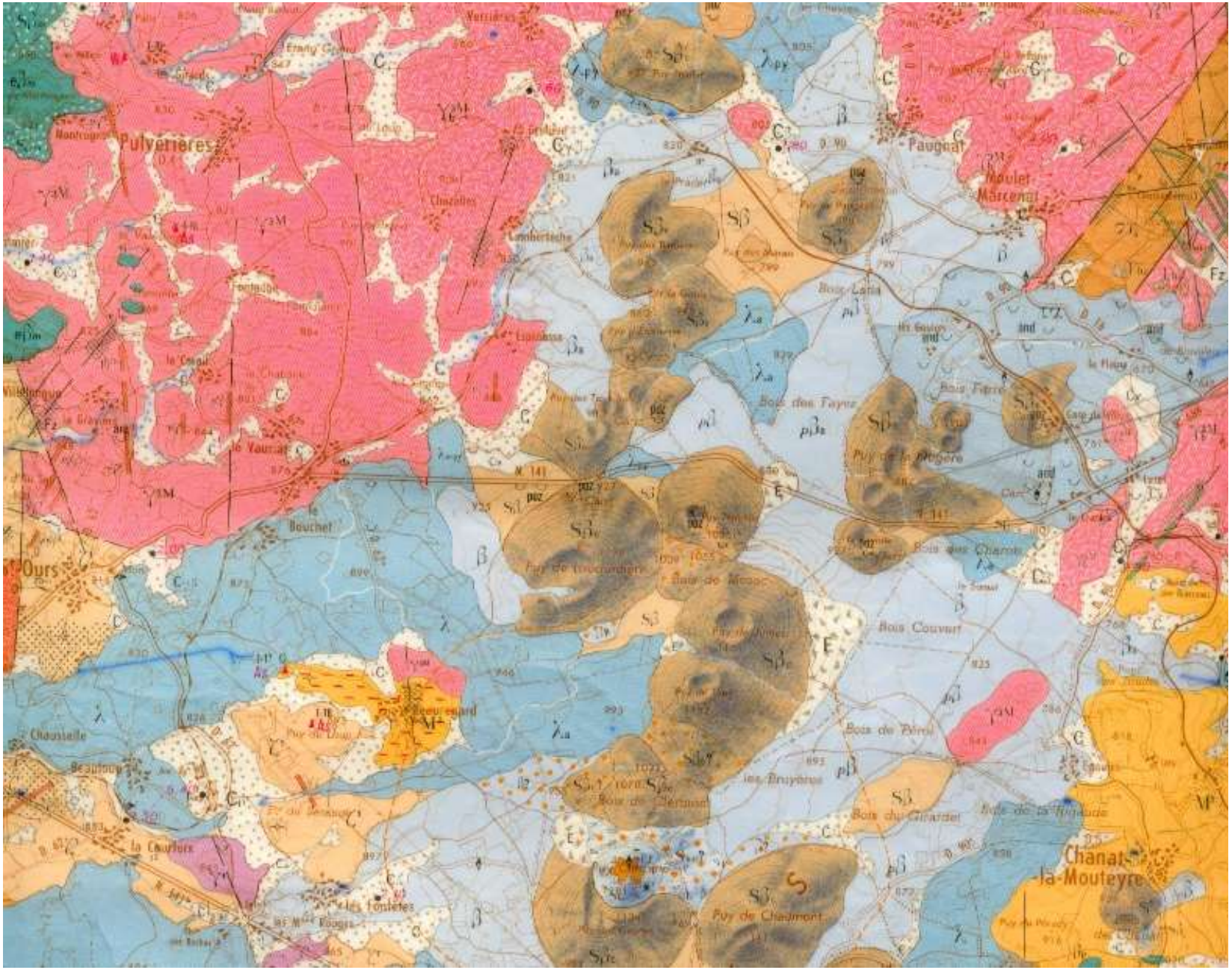
Détail des fumerolles déposant des cristaux de soufre.

Vue d’ensemble d’un champ de fumerolles sur le Vulcano (Italie)

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



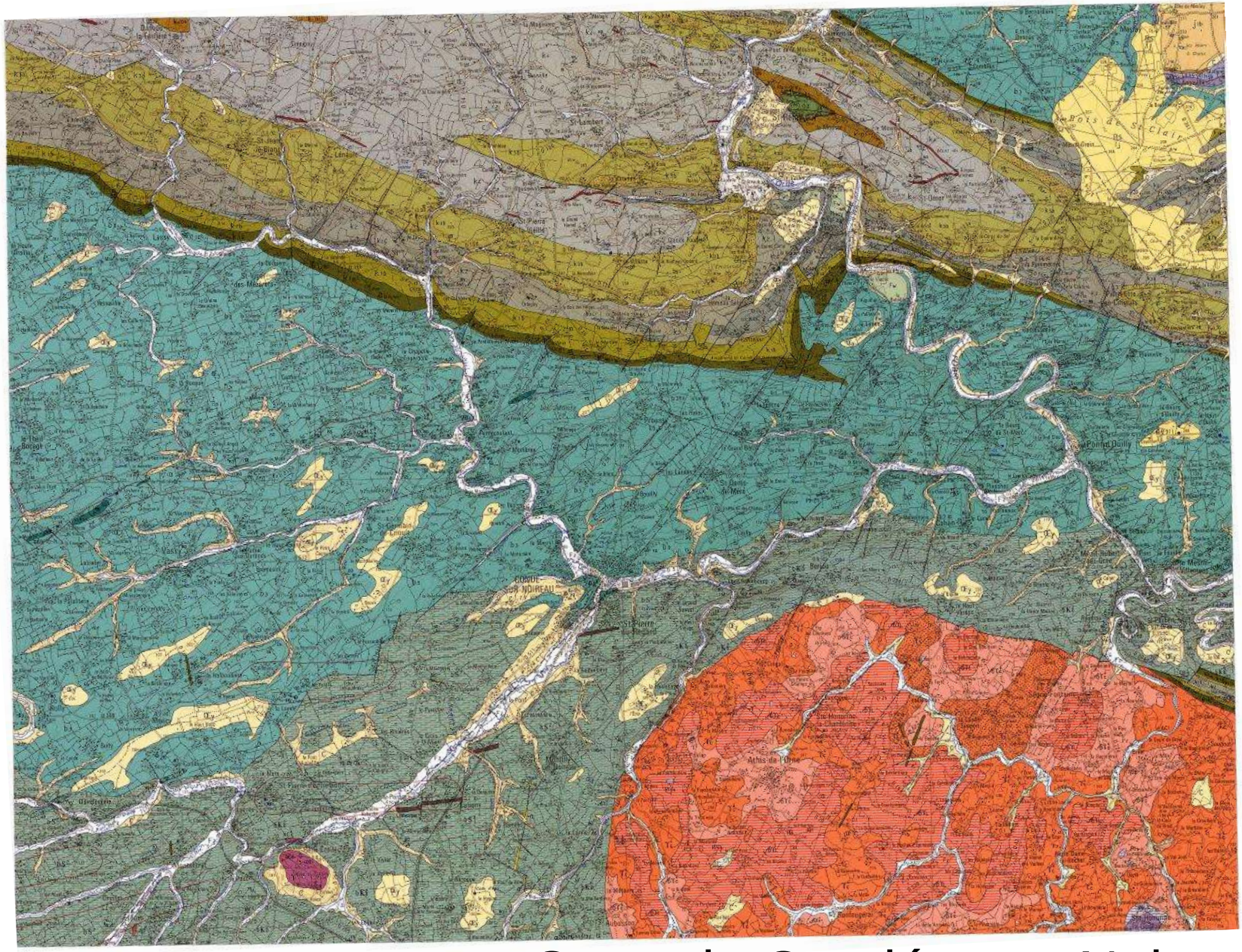
Volcans actifs :
- effusifs (ex : Kilauea)
- explosifs (Mt Saint Helens)



Extrait de la carte géologique de Clermont

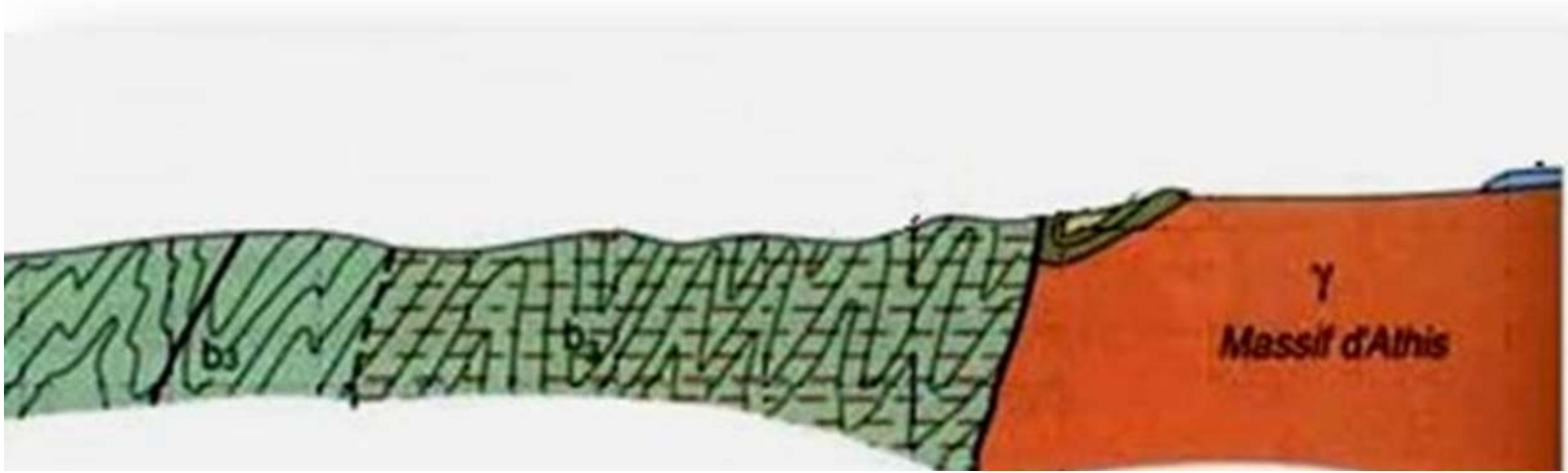
Un filon dans un affleurement de granite

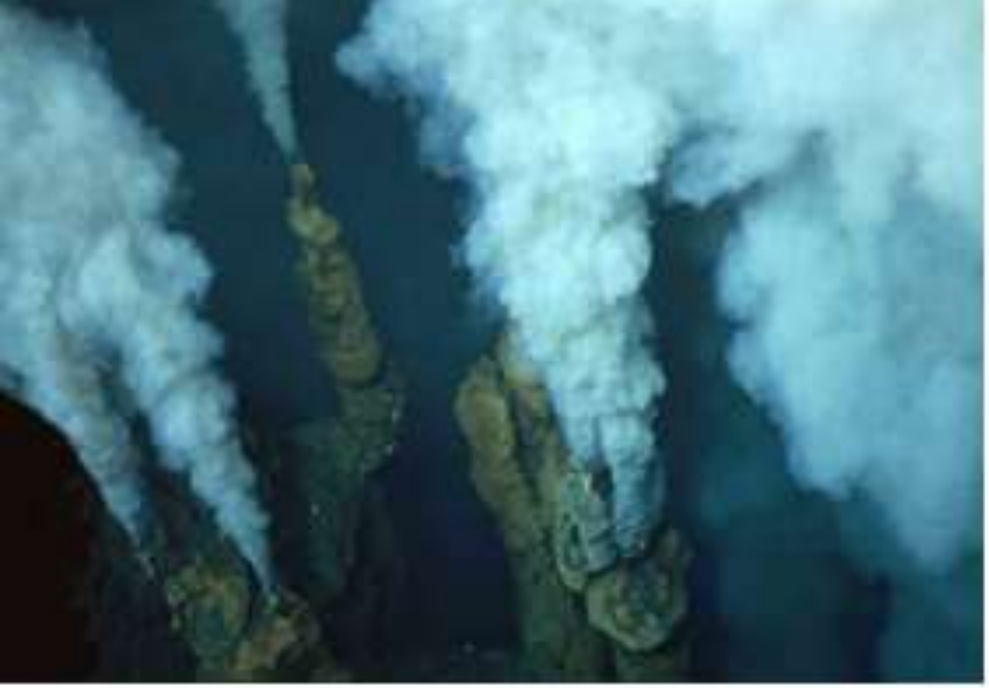
2. Traces indirectes



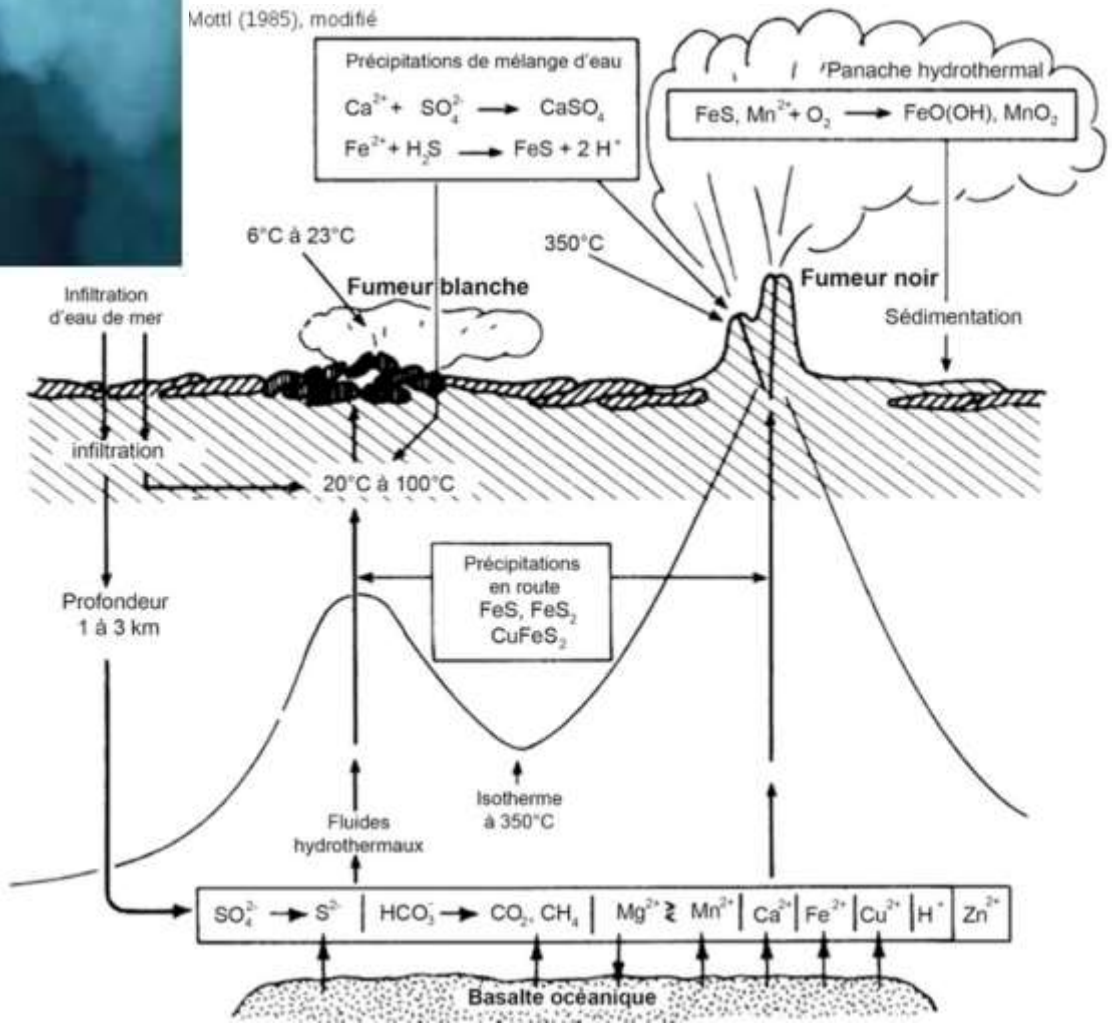
Carte de Condé sous Noireau

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





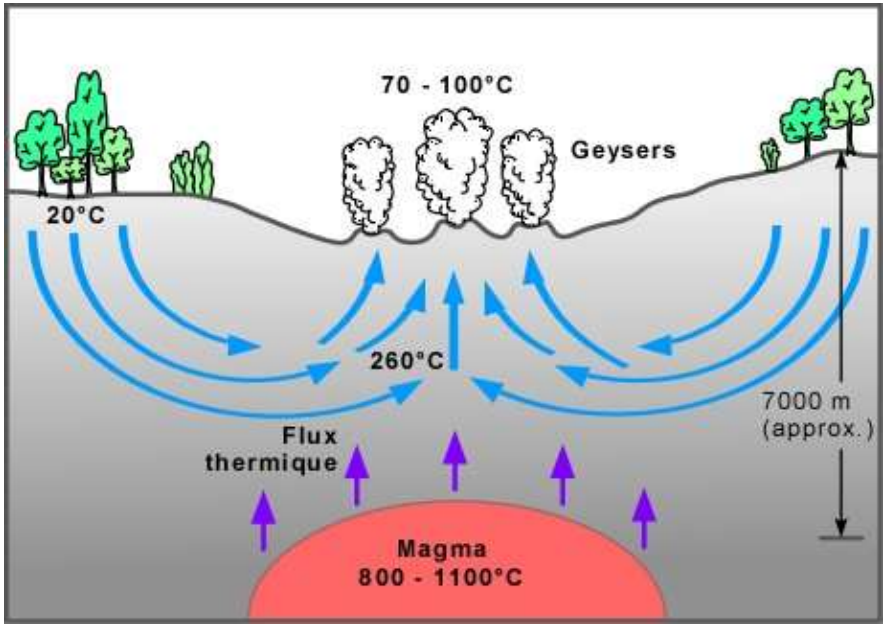
Document 2.
Hydrothermalisme océanique : Fumeurs blancs et noirs.



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).

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/eaux.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

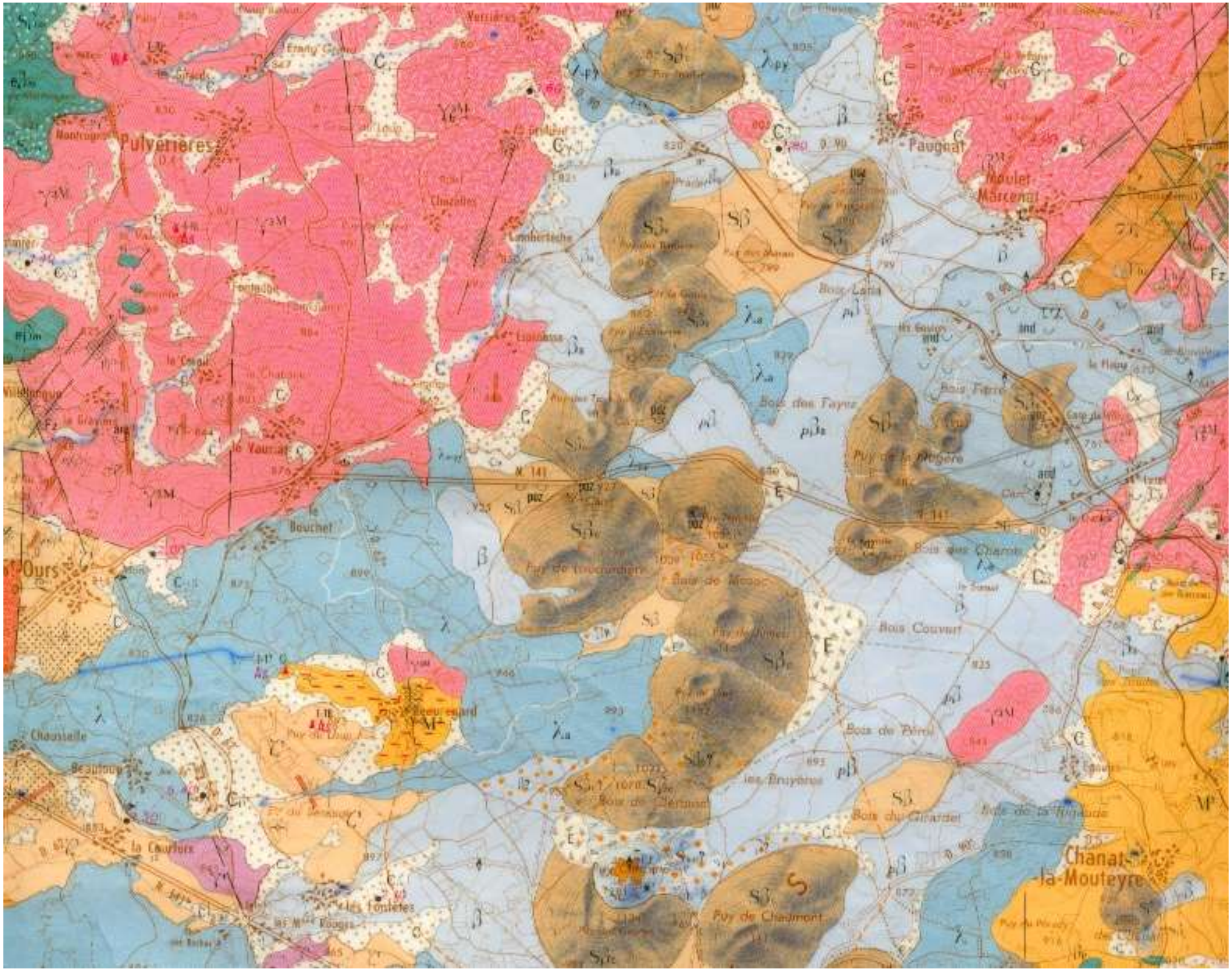
Différentes lithologies sont présentes, notamment une roche de teinte gris-rose, présentant une foliation soulignée par les amas de biotite, de gros minéraux blanc-roses déformés dans la foliation (des feldspaths potassiques), du quartz, des plagioclases : cette roche est un gneiss.

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.

http://planet-terre.ens-lyon.fr/article/gneiss-icartien-Port-Beni.xml

3. Reconstitution d'une chronologie de mise en place

…À partir des informations de la carte géologique



Extrait de la carte géologique de Clermont

…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).

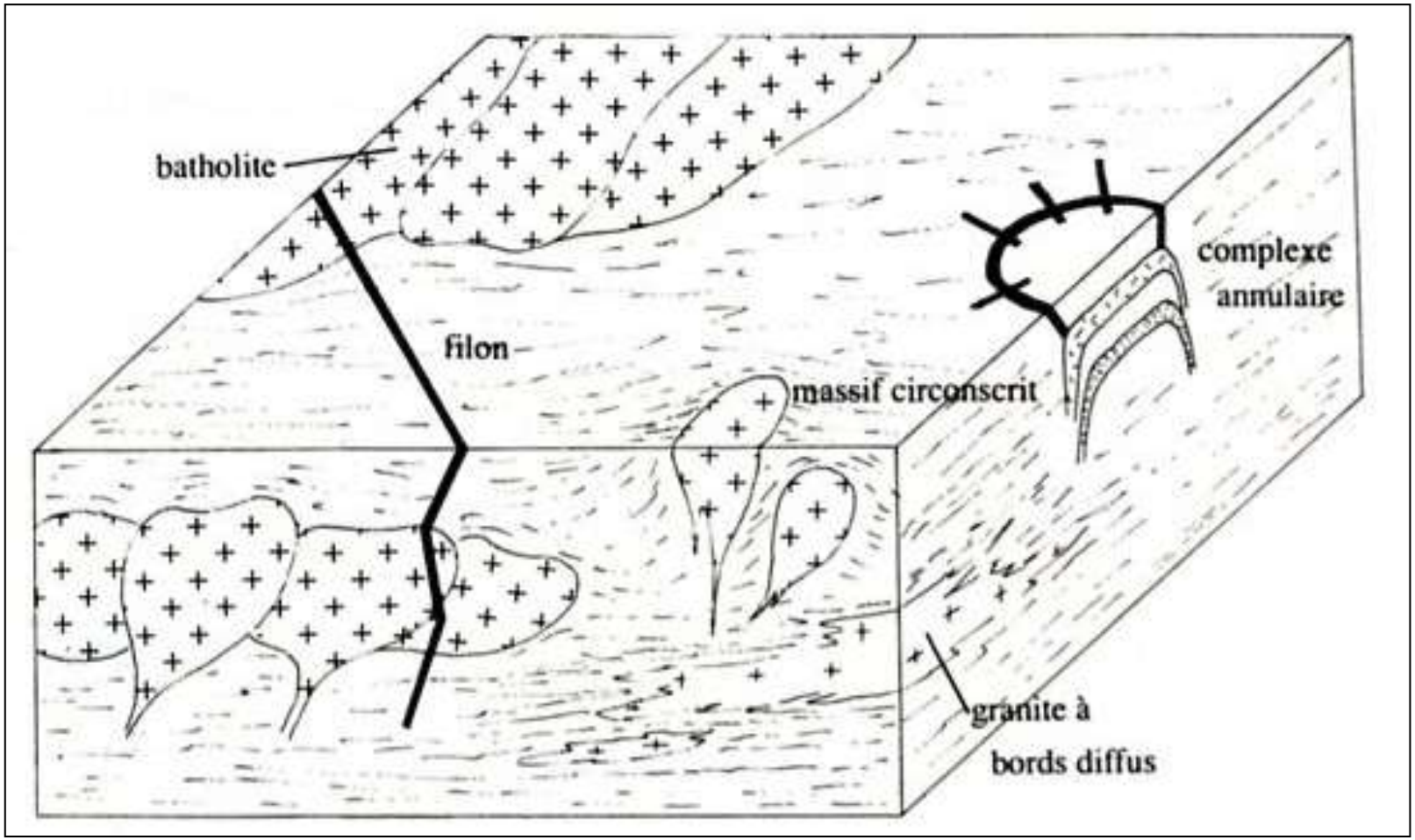
Enclaves de cornéenne, granite de Ploumanach’.

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.

1. Diversité structurale

Diversité structurale à l'échelle des édifices : Les roches de profondeur

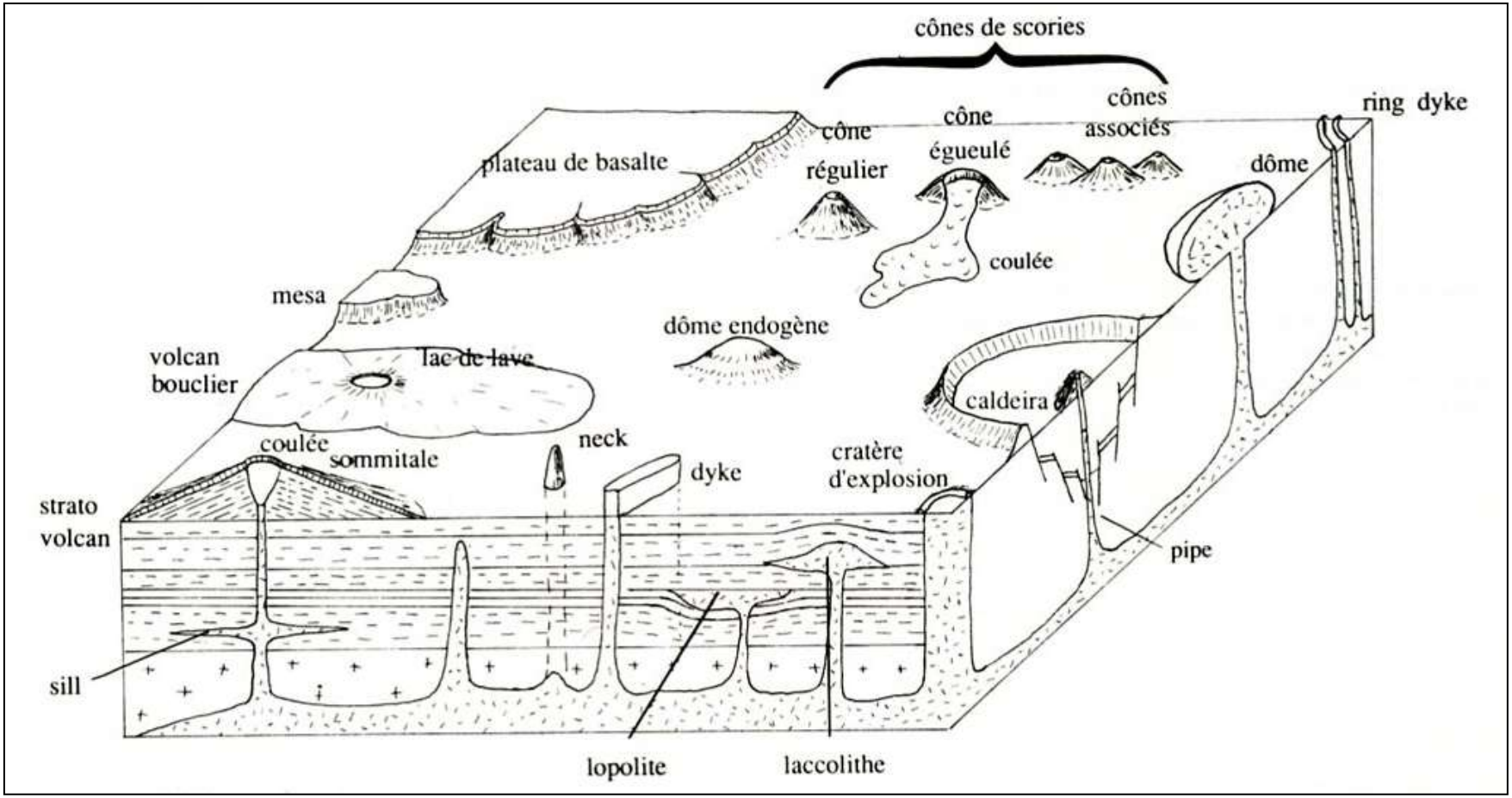


Document 4 : Différents types d'édifices plutoniques.

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

Batholite de granodiorite (Sierra Nevada, Californie)

Diversité structurale à l'échelle des édifices :
Les roches de surface ou subsurface

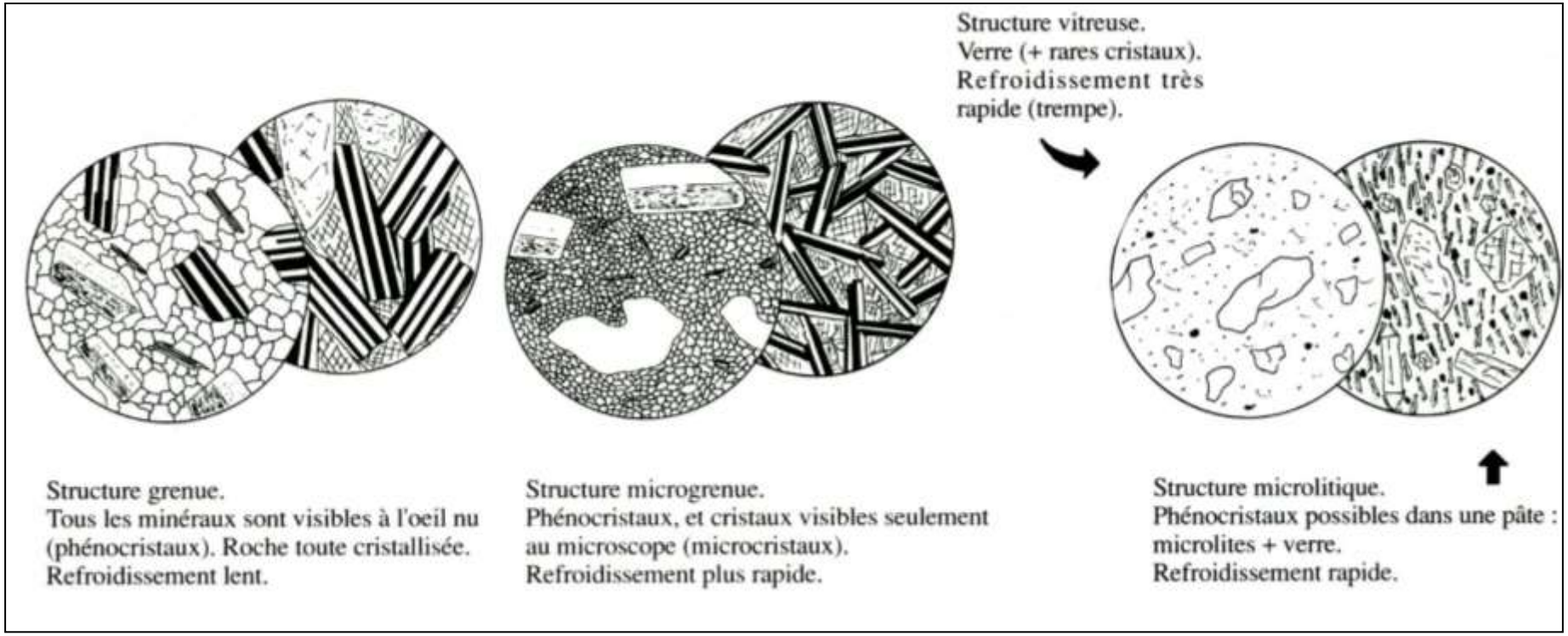


<u>Document 5 :</u> Diversité des édifices magmatiques.

(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.

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 encaissant,

-et du volume du magma.

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

2. Diversité chimique et minéralogique

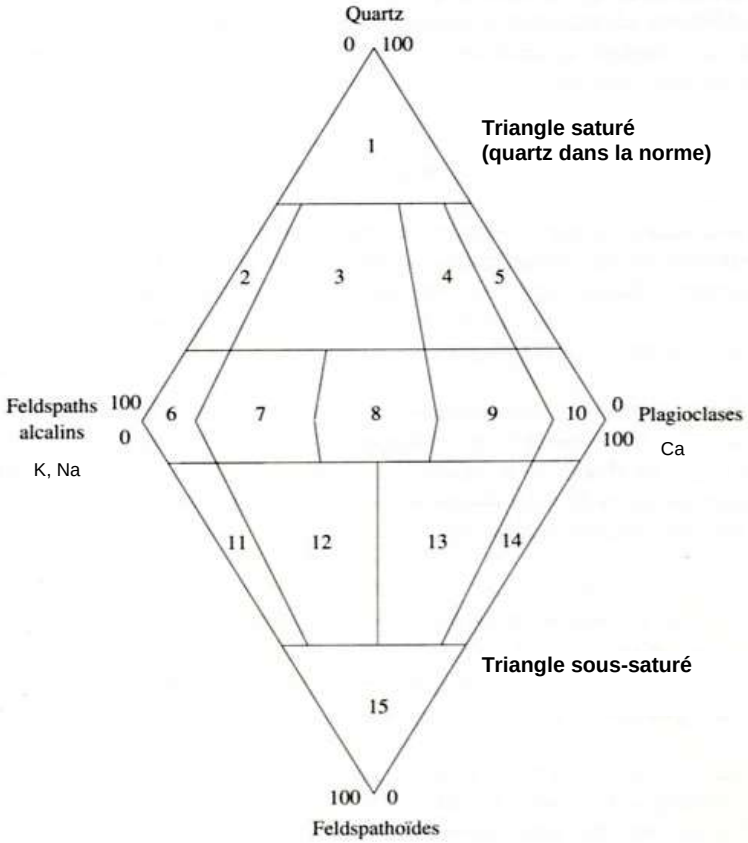
Composition minéralogique modale (%)		Composition minéralogique virtuelle (norme) (%)	
Phénocristaux	7,8	Quartz	2,42
Dont :		Orthose	24,56
Feldspath (Na-K)	6,6	Albite	53,83
Pyroxène	0,2	Anorthite	7,42
Quartz	1	Diopside	3,56
Microlithes	92,2	Hypersthène	0,29
Dont :		Magnétite	6,17
Feldspath (Na-K)	74,2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

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

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

2 : GRANITES ALCALINS
Rhyolites alcalines

3 : GRANITES
Rhyolites

4 : GRANODIORITES
Dacites

5 : TONALITES
Andésites Basaltes quartziques

6 : SYENITES ALCALINES
Trachytes alcalins

7 : SYENITES
Trachytes

8 : MONZONITES
Latites

9 : MONZODIORITES MONZOGABBROS
Trachyandésites Trachybasaltes

10 : DIORITES GABBROS
Andésites Basaltes

11 : SYENITES FELDSPATHOIDIQUES
Phonolites feldspathoïdiques

12 : MONZOSYENITES FELDSPATHOÏDIQUES
Phonolites

13 : ESSEXITES
Téphrites

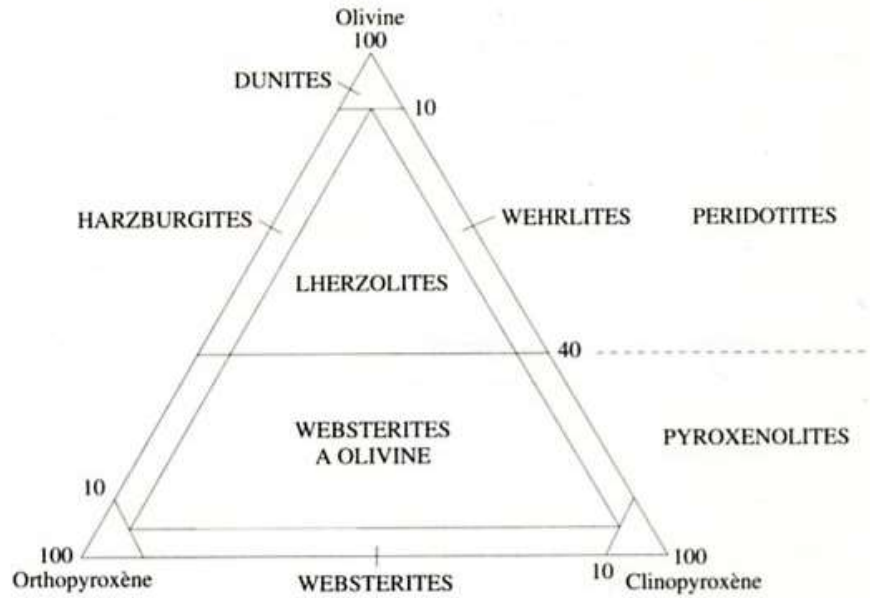
14 : THERALITES
Basanites

15: FELDSPATHOIDITES (IJOLITES, MISSOURITES)
Néphélinites, leucitites

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_2O_3	13,75	16,04
Fe_2O_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_2O	3,51	2,97
K_2O	5,13	1,16

<u>Document 9.</u> 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.)

<u>Document 10</u>. Critères de classification des roches magmatiques

- L'acidité :

roches acides :	$SiO_2 > 65$ %
roches intermédiaires :	$52 \% < SiO_2 < 65 \%$
roches basiques :	$45 \% < SiO_2 < 52 \%$
roches ultrabasiques :	$SiO_2 < 45$ %

- La saturation : elle prend en compte l'expression minéralogique de la richesse en SiO2.

  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.

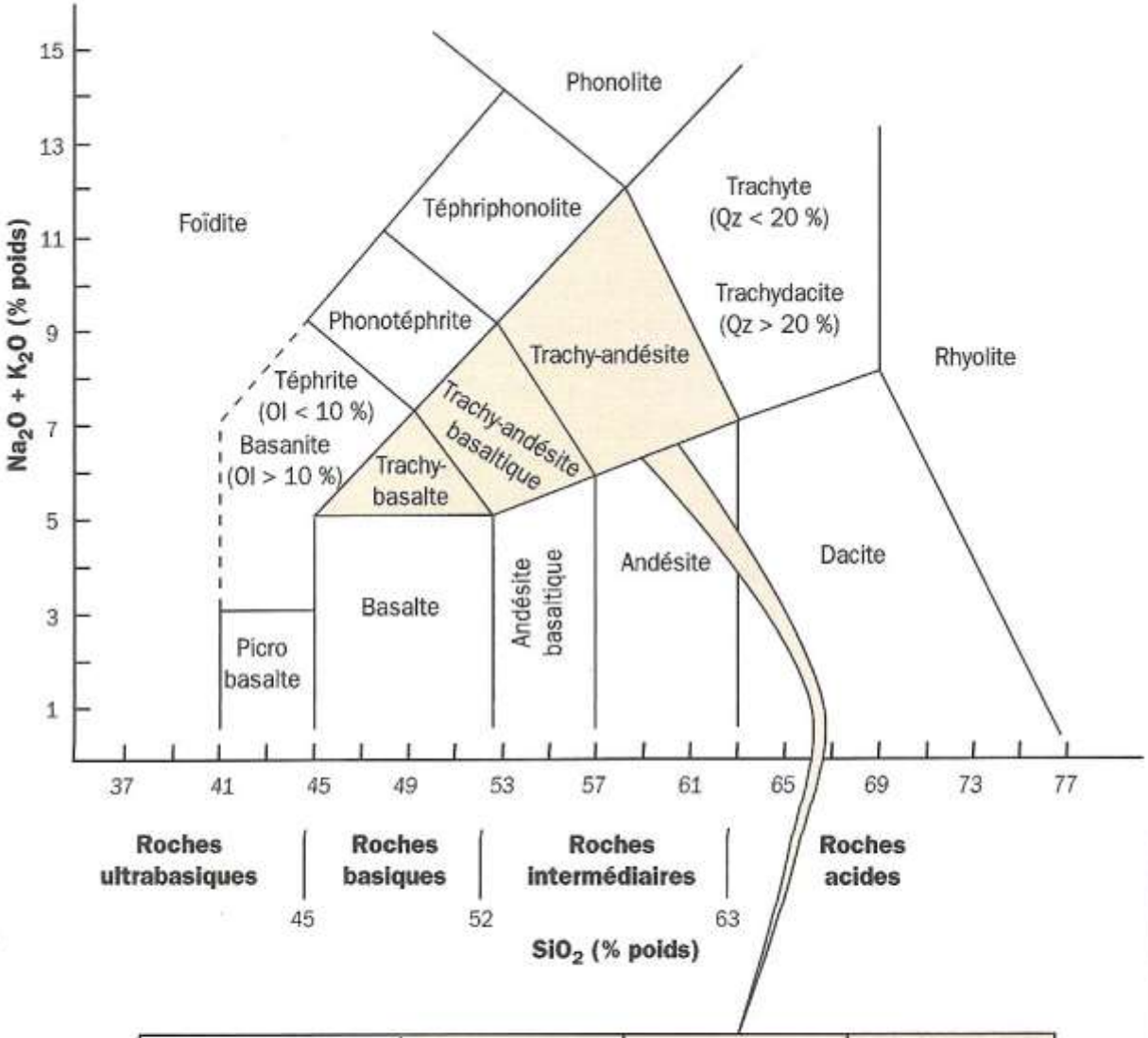
  Elles sont calco-sodiques lorsqu'elles ne contiennent que des plagioclases.

- 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 %

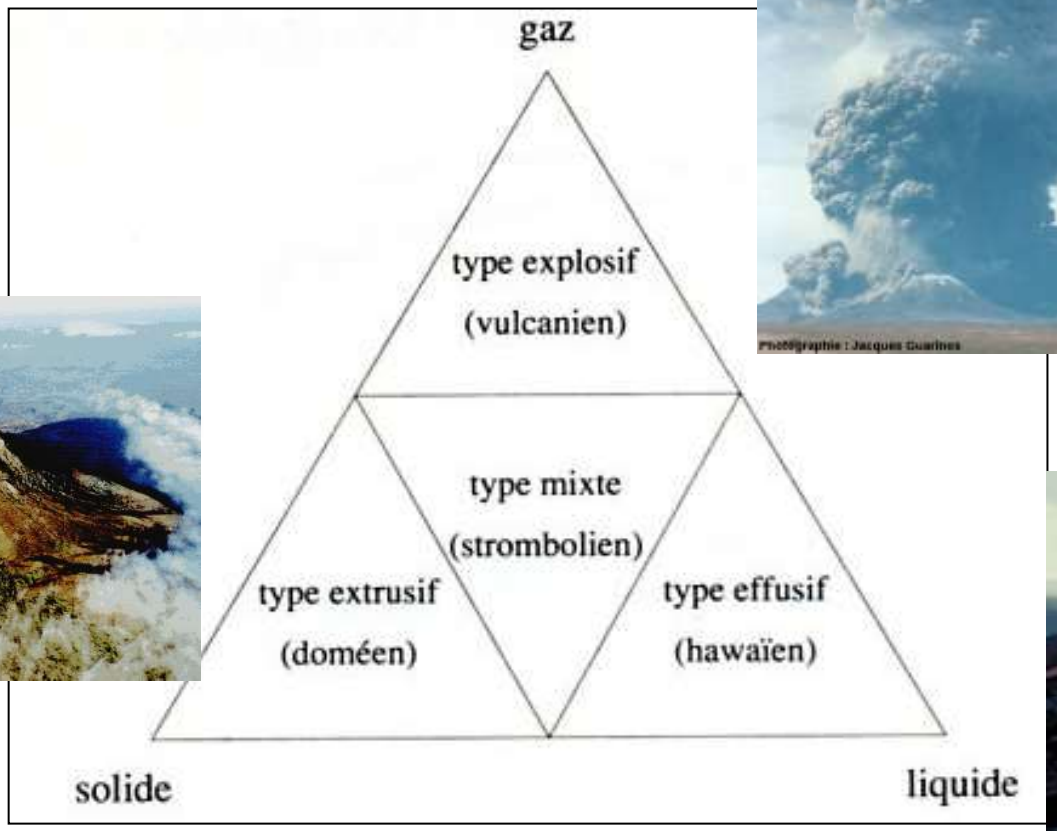
Document 11. Classification chimique des roches volcaniques dans un diagramme TAS (Total Alkali Silicate).

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



Subdivisions du champ coloré	Trachybasalte	Trachy-andésite basaltique	Trachy-andésite
$Na_2O - 2{,}0 \geq K_2O$	Hawaiite	Mugéarite	Benmoréite
$Na_2O - 2{,}0 < K_2O$	Trachybasalte potassique	Shoshonite	Latite

3. Diversité de dynamisme éruptif



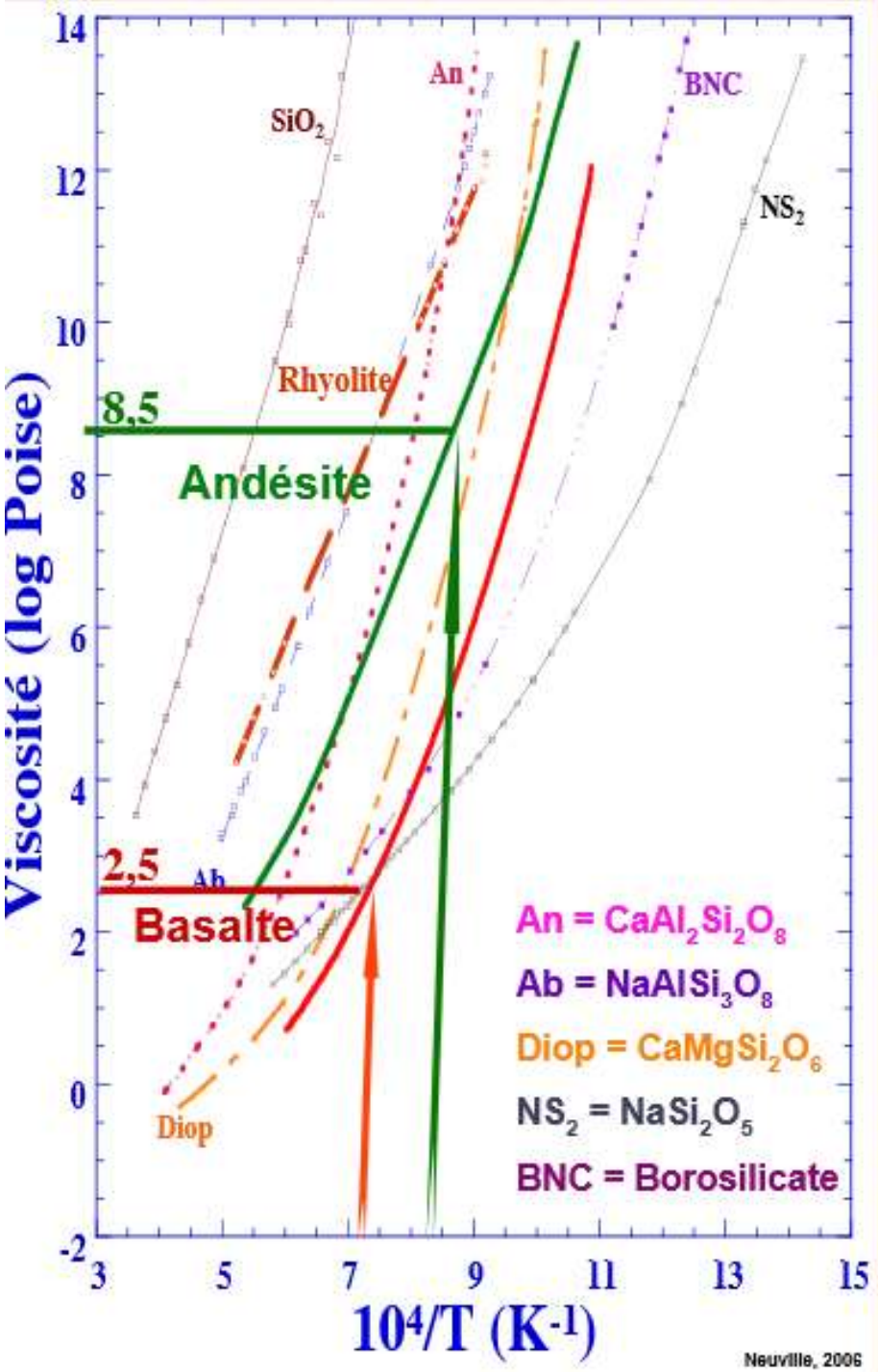
<u>Document 12 :</u> Quelques types d'activités magmatiques.

(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.



http://www.ipgp.fr/~neuville/viscosit1.pdf

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°Cà 1250°C) que les magmas acides visqueux (750°C et 900°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.

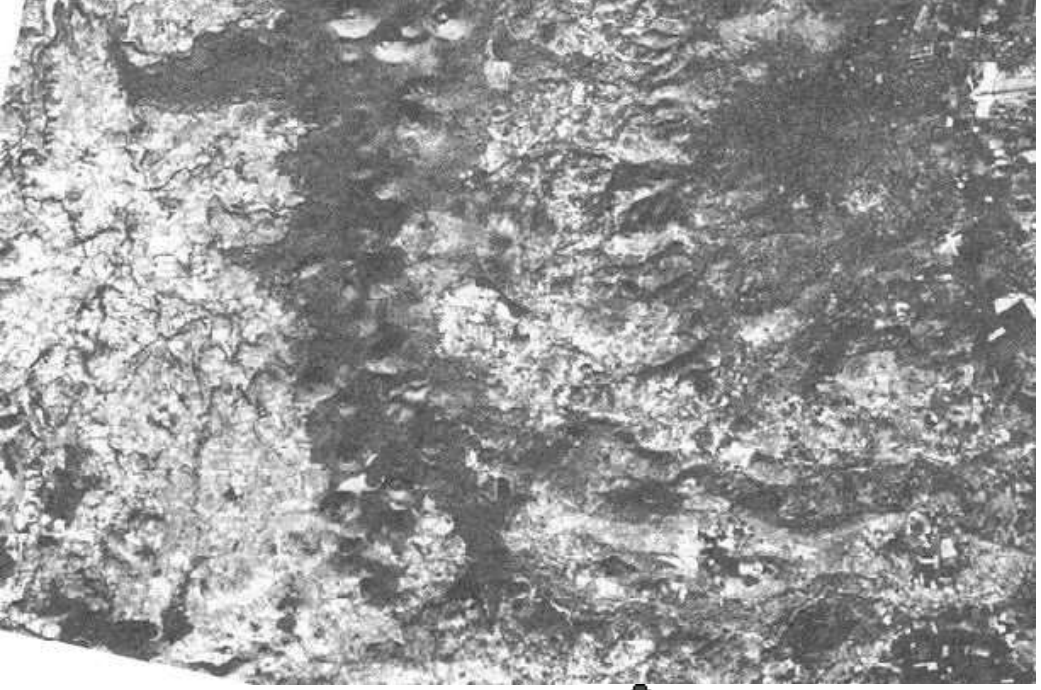
- l'acidité du magma (plus le magma est basique, c'est-à-dire de moins en moins riche en silice, plus il est fluide).

- 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

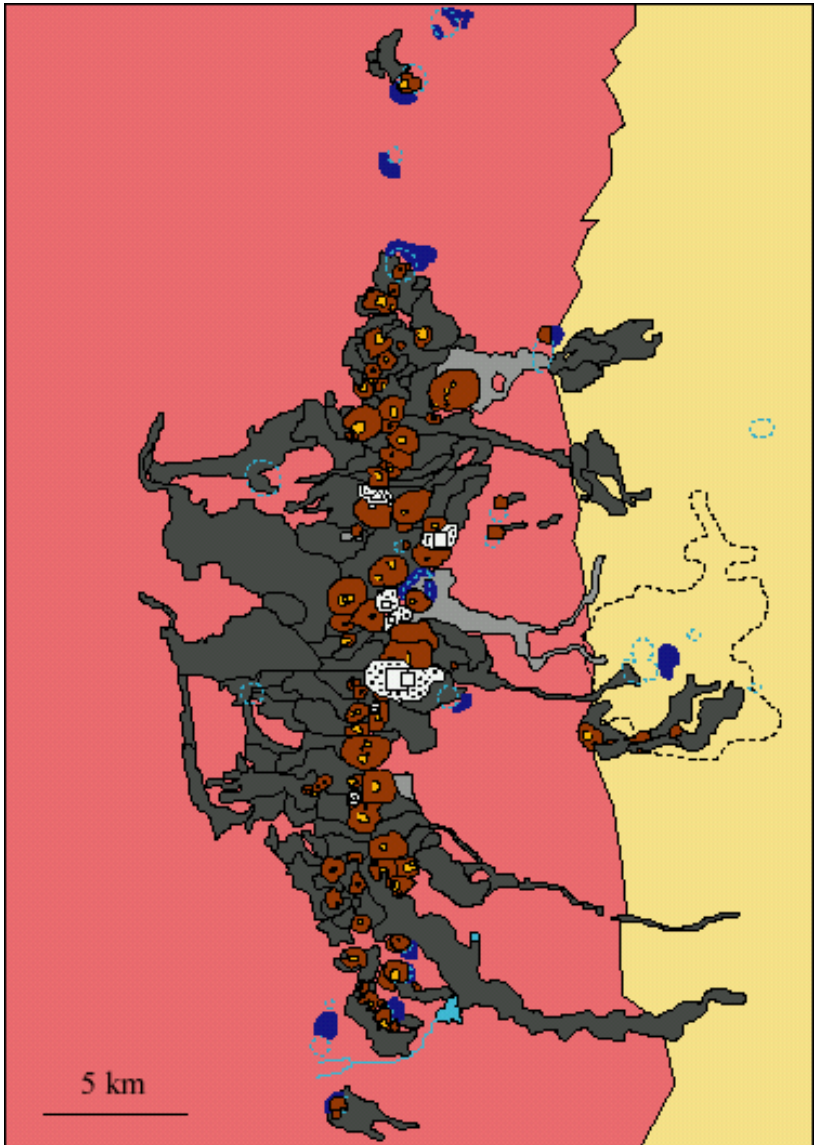
1. Unité de temps et unité de lieu : arguments pour une origine commune

Exemple de la chaîne des Puys



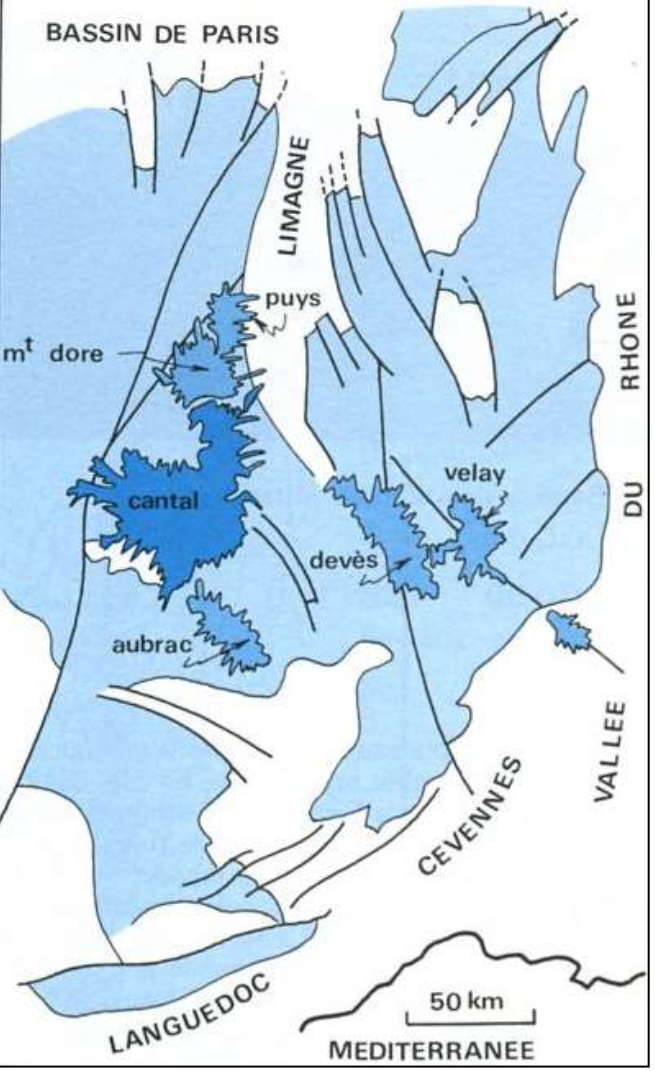
La chaîne des Puys vue par le satellite SPOT, le 10 novembre 1986

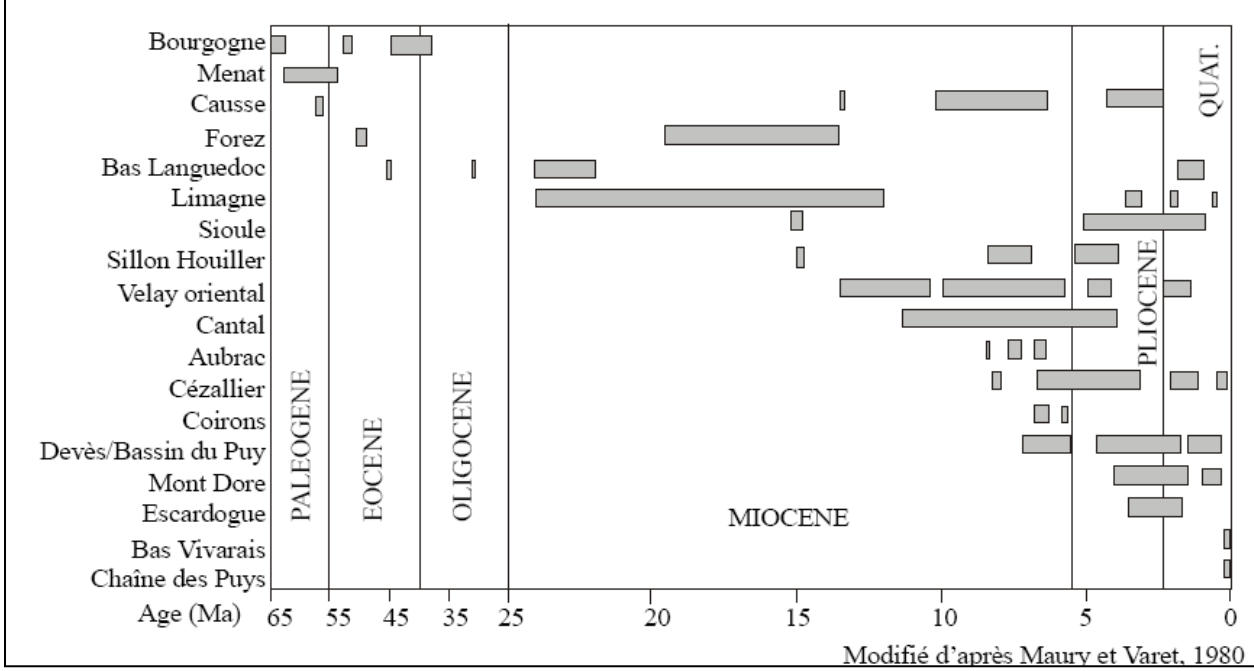
D'après André SIMONIN, Bulletin de l'APBG 2 bis, page 121, 1987.



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



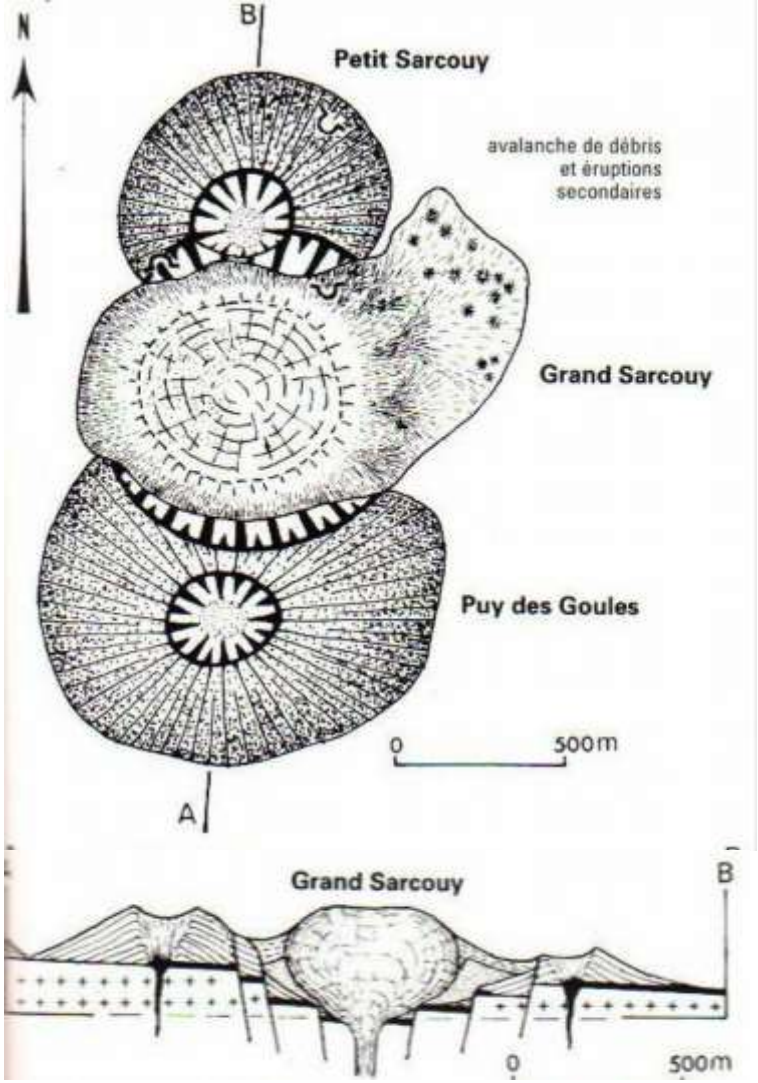


<u>Document 14.</u> Age des principaux ensembles volcaniques du Massif Central.

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

<u>Document 13.</u> Localisation des principaux édifices volcaniques récents du Massif Central français.

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

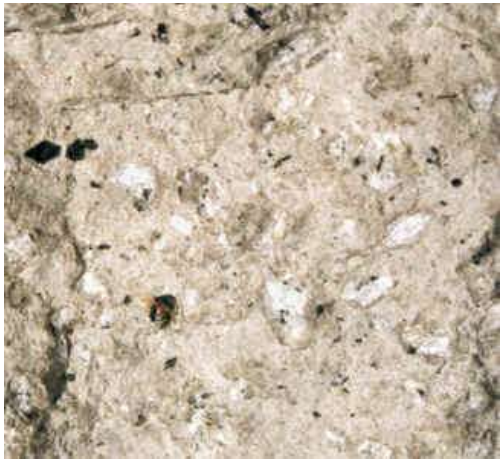


Modes de gisement : encore un argument pour une origine commune

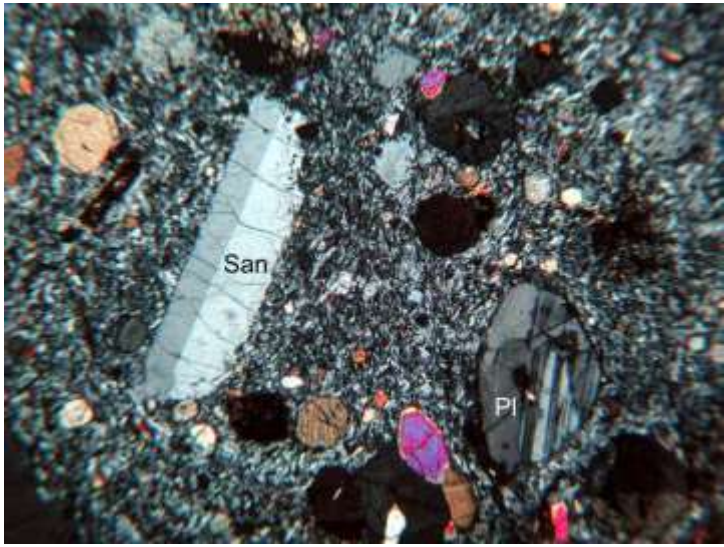
http://marciniak.fr/geol/puys/

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

Basalte alcalin de Saint-Saturnin



Trachyte



	SiO_2	Al_2O_3	FeO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	TiO_2	MnO	P_2O_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_2O_3	15,85	16,56	16,9	17,6	17,89	17,90	15,55
$Fe_2O_3^T$	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_2O	3,70	3,92	4,45	5 ,00	5,42	5,58	5,60
K_2O	1,68	1,80	2,47	2,71	3,40	3,82	4,88
P_2O_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 (hawaiite = « 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 »)
$Fe_2O_3^T$ = fer total sous forme de Fe_2O_3.
(ID : Indice de différenciation).

<u>Document 15.</u> Compositions chimiques de laves représentatives de la série alaline de la Chaîne des Puys.

(Bonin B., “ Pétrologie endogène ”, Dunod Ed.).

→ continuum chimique

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

➢ <u>Basaltes alcalins</u> : Ol, cpx, pgcl calciques

➢ <u>Hawaïtes</u> : (Ol), cpx, pgcl

➢ <u>Mugéarites</u> : pgcl (- calciques et + sodiques), amphiboles

➢ <u>Trachytes</u> : pgcl sodiques, amphiboles, F_K (sanidine), biotite

→ continuum minéralogique

Evolution des caractéristiques physiques des laves :

- Lave basaltique : faible viscosité, T = 1 200 °C
- Lave trachytique : viscosité élevée, T = 900 ° C

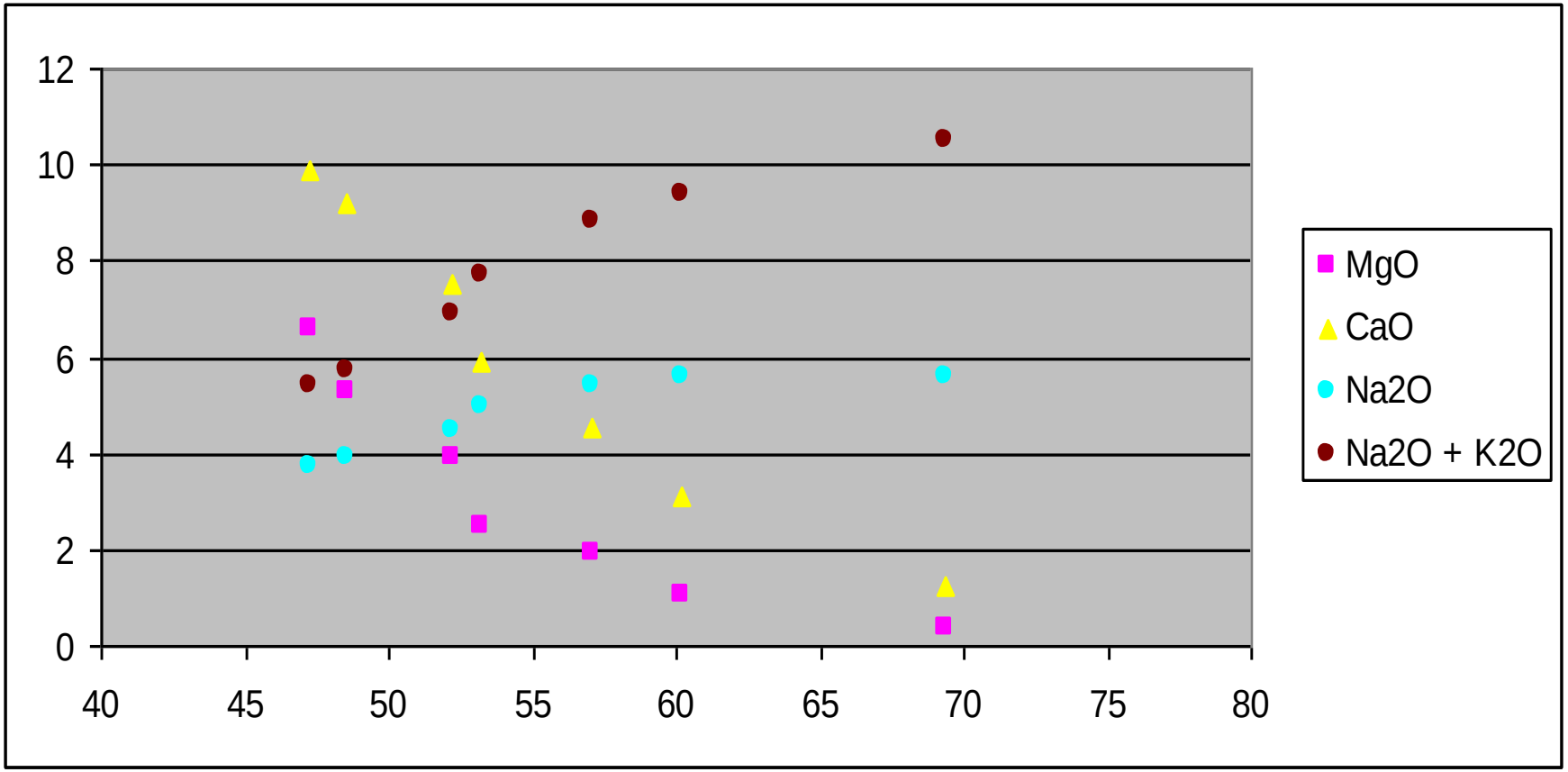
- **Unité de lieu**
- **Unité d'âge**
- **Continuum chimique, minéralogique**
  = unité magmatique

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_2O_3	15,85	16,56	16,9	17,6	17,89	17,90	15,55
$Fe_2O_3^T$	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_2O	3,70	3,92	4,45	5 ,00	5,42	5,58	5,60
K_2O	1,68	1,80	2,47	2,71	3,40	3,82	4,88
P_2O_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 (hawaiite = « 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 »)
$Fe_2O_3^T$ = fer total sous forme de Fe_2O_3.
(ID : Indice de différenciation).

Termes les plus différenciés



Evolution de MgO, CaO, Na_2O et $Na_2O + K_2O$ en fonction de SiO_2 pour la série étudiée

Enrichissement en alcalins → série alcaline

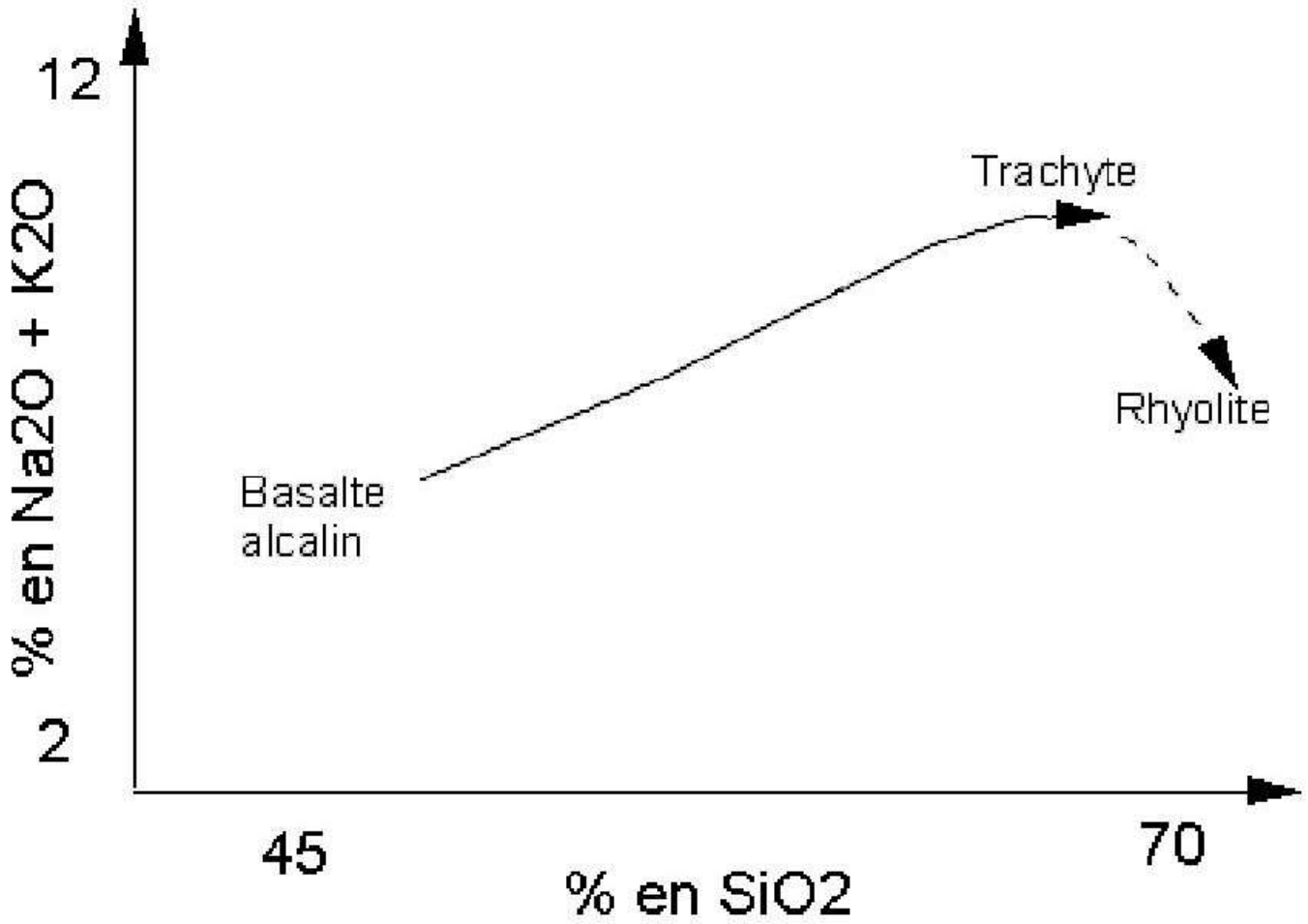
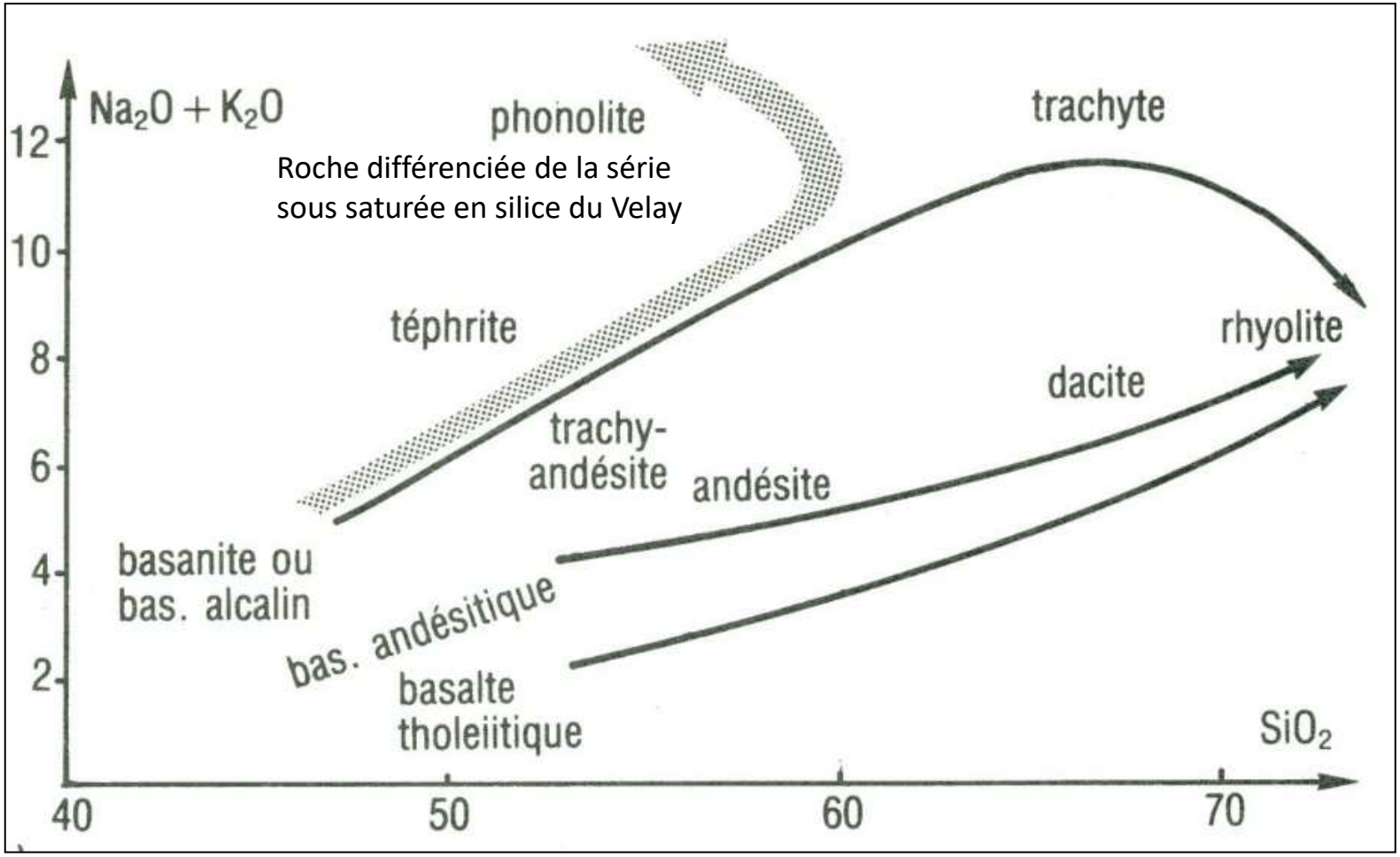


Diagramme d'évolution de $Na_2O + K_2O$ en fonction de SiO_2 pour la série étudiée

Place de la série alcaline dans le diagramme de Harker



<u>Document 16 :</u> Situation des laves dans le diagramme ($Na_2O + K_2O$) / SiO_2.
(Bardintzeff J.M., dans “ Enseigner la géologie ”, Nathan Ed.)

Différenciation des laves représentatives d'une série :

- **Indice de différenciation ID :**

ID = somme normative Q + Ab + orthose
(ou : néphéline + Ab + orthose)

- **Indice d'alcalinité AI :**

$$AI = (Na_2O + K_2O) / (SiO_2 - 43) \times 0,17$$

→ Construction du diagramme AI = f (%Al_2O_3)

- **Diagramme de Harker :**

$$\% (Na_2O + K_2O) = f (\% SiO_2)$$