



HAL
open science

**Les enclaves basiques du granite du Rochail (syénite du
Lauvitel) - Haut Dauphiné , Alpes françaises .**

Pétrographie et minéralogie

Tanneguy Boisset De

► **To cite this version:**

Tanneguy Boisset De. Les enclaves basiques du granite du Rochail (syénite du Lauvitel) - Haut Dauphiné , Alpes françaises . Pétrographie et minéralogie. Géochimie. Université Scientifique et Médicale de Grenoble, 1986. Français. NNT: . tel-00545947

HAL Id: tel-00545947

<https://theses.hal.science/tel-00545947>

Submitted on 13 Dec 2010

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Thèse présentée

à

L'UNIVERSITE SCIENTIFIQUE, TECHNIQUE ET MEDICALE
DE GRENOBLE

pour l'obtention du titre de Docteur de troisième cycle
Spécialité : Géologie Appliquée

LES ENCLAVES BASIQUES DU GRANITE DU ROCHAIL (SYENITE DU LAUVITEL)

HAUT DAUPHINE, ALPES FRANCAISES

PETROGRAPHIE ET MINERALOGIE

Tanneguy de BOISSET

Thèse soutenue le 7 Octobre 1986 devant la Commission d'Examen

M.	P. GIRAUD	Professeur U.S.T.M. de Grenoble	Président
Mme	N. VATIN-PERIGNON	Directeur de recherche C.N.R.S.	Rapporteur
M.	J. LAMEYRE	Professeur U.P.M.C. de Paris VI	Examineur
M.	P. LEFORT	Directeur de recherche C.N.R.S.	Examineur
M.	H. LOUBAT	Maître de Conférence associé U.S.T.M.G.	Examineur
M.	G. VIVIER	Ingénieur C.N.R.S.	Examineur

Thèse présentée

à

**L'UNIVERSITE SCIENTIFIQUE, TECHNIQUE ET MEDICALE
DE GRENOBLE**

**pour l'obtention du titre de Docteur de troisième cycle
Spécialité : Géologie Appliquée**

LES ENCLAVES BASIQUES DU GRANITE DU ROCHAIL (SYENITE DU LAUVITEL)

HAUT DAUPHINE, ALPES FRANCAISES

PETROGRAPHIE ET MINERALOGIE

Tanneguy de BOISSET

Thèse soutenue le 7 Octobre 1986 devant la Commission d'Examen

M.	P. GIRAUD	Professeur U.S.T.M. de Grenoble	Président
Mme	N. VATIN-PERIGNON	Directeur de recherche C.N.R.S.	Rapporteur
M.	J. LAMEYRE	Professeur U.P.M.C. de Paris VI	Examinateur
M.	P. LEFORT	Directeur de recherche C.N.R.S.	Examinateur
M.	H. LOUBAT	Maître de Conférence associé U.S.T.M.G.	Examinateur
M.	G. VIVIER	Ingénieur C.N.R.S.	Examinateur

REMERCIEMENTS

Au moment de clore cette étude, il m'est agréable de remercier madame N. VATIN-PERIGNON, pour le soutien qu'elle m'a toujours témoigné.

Je tiens également à remercier :

monsieur P. GIRAUD, d'avoir bien voulu m'honorer en présidant le Jury,

messieurs J. LAMEYRE et P. LE FORT, qui ont très aimablement accepté de faire partie du Jury,

monsieur G. VIVIER, d'avoir été à l'origine du sujet et d'en avoir suivi les développements de bout en bout. Ses nombreuses critiques m'ont permis d'orienter et d'approfondir le travail de recherche,

monsieur H. LOUBAT, à qui je dois de nombreuses suggestions très judicieuses tant pour l'interprétation des observations microscopiques et macroscopiques que pour la rédaction,

messieurs R.A. OLIVER et surtout P. VITTOZ, avec lesquels a été effectuée la plupart des observations sur le terrain depuis le DEA.

... sans oublier les nombreux techniciens et étudiants de l'Institut Dolomieu.

Thèse troisième cycle
géologie appliquée

Titre de l'ouvrage :

**LES ENCLAVES BASIQUES DU GRANITE DU ROCHAIL (SYENITE DU LAUVITEL)
HAUT-DAUPHINE, ALPES FRANCAISES
PETROGRAPHIE ET MINERALOGIE**

Nom de l'auteur : Tanneguy de BOISSET

Etablissement : Université Scientifique, Technique et Médicale de Grenoble

RESUME

Le granite hercynien du Rochail (Haut Dauphiné, Alpes françaises) présente un certain nombre d'enclaves basiques, ou "syénite du Lauvitel".

La cartographie au 1/1000° environ et les mesures effectuées sur ces affleurements (en particulier dans le secteur du refuge des Sources au Nord-Ouest du massif) confirment le caractère magmatique des relations acide-basique.

L'étude pétrographique et minéralogique des divers facies syénitiques a permis de distinguer trois paragénèses successives représentatives d'autant d'états physico-chimiques du matériel basique :

- une paragénèse précoce et profonde, largement déstabilisée : olivine (?), clinopyroxène, plagioclase basique, apatite trapue, zircon, ilménite (?) ...
- une paragénèse de remplacement où apparaissent des minéraux hydratés. Les conditions de cristallisation sont de l'ordre de 5 Kb et 600 à 700°C : actinote/hornblende, biotite phlogopitique/biotite, plagioclase oligoclase, apatite prismatique, sphère ...
- une paragénèse à affinité alcaline leucocrate révélatrice de la contamination de l'enclave basique par l'encaissant granitique : feldspath potassique, apatite aciculaire, quartz, albite ...

La géochimie du matériel basique et de l'encaissant granitique infirme l'idée d'une parenté entre eux, mais rend plausible celle de l'origine cumulative des enclaves.

Les facies intermédiaires entre les termes extrêmes acide et basique s'avèrent être la conséquence de la contamination de l'enclave par l'encaissant. La métasomatose silico-potassique pourrait être invoquée.

L'hypothèse retenue fait intervenir un matériel basique d'origine profonde, cristallisé, emballé et fragmenté pendant son transport par un magma granitique monzonitique. Après la mise en place magmatique acide-basique tardive hercynienne, l'ensemble est repris par la phase tectonique alpine.

Mots clés

magmatisme acide-basique ; enclave basique ; géochimie des majeurs ; contamination ; hercynien ; Haut Dauphiné ; Alpes françaises ; France.

ABSTRACT

The hercynian granite of Rochail (Haut Dauphiné, French Alps) shows some basic enclaves or 'syénite du Lauvitel'.

The cartography at about 1/1000° and the measurements carried out on these outcrops (more particularly in the Refuge des Sources area in the North West of this massif) confirm the magmatic character of the acid-basic relationships.

The petrographic and mineralogical study of the various syenitic facies has enabled to point out three successive parageneses representing as many physical and chemical conditions of the basic material :

- one early, deep and greatly unstabilized paragenesis :
olivine(?), clinopyroxene, basic plagioclase, thick apatite, zircon, ilmenite (?)...
- one substitution paragenesis in which hydrated minerals appear. The crystallization conditions are in the order of 5 kb and 600 to 700°C :
actinolite/hornblende, phlogopitic biotite/biotite, oligoclase plagioclase, prismatic apatite, sphene ...
- one paragenesis with alacilin leucocrate trend showing the basic enclave contamination by the granite matrix : potassic feldspar, acicular apatite, quartz, albite ...

The geochemistry study of the basic material and the granite matrix invalidates the cogenetism assumption. But the cumulative origin of the enclaves seems to be possible.

The intermediate facies between the extreme acid and basic terms are the consequence of the enclave contamination by the granitic matrix. The silicic and potassic metasomatose could be set forth.

In the selected assumption, a basic and crystallized material with deep-seating origin is packed and broken during its transport by a monzonitic granitic magma. After the tardi-hercynian acid-basic magmatic placing, the whole is distorted by the alpin tectonic phase.

Key words

Acid-basic magmatism ; basic enclave ; geochemistry ; contamination ; hercynian ; Haut Dauphiné ; French Alps ; France.

SOMMAIRE

	Page
Résumé	I
Abstract	2
Sommaire	3
 <u>Premier chapitre</u> 	
Présentation des Massifs Cristallins Externes	7
I - 1. Situation	9
I - 2. Contexte géologique et structural	II
I-2.1. Les événements hercyniens	II
I-2.2. Les évènements alpins	13
I - 3. Le massif du Haut Dauphiné	14
 <u>Deuxième chapitre</u> 	
Les associations acide-basique dans les Alpes	15
II- 1. Etudes préliminaires dans les Alpes	17
II -2. Terminologie	19
II -3. Origine	20
II-3.1. L'hypothèse des magmatistes	20
II-3.2. L'hypothèse des métasomatistes	21
II -4. But de l'étude	21
 <u>Troisième chapitre</u> 	
Les enclaves basiques du massif du Rochail	23
III-I. Le granite du Rochail	25
A/ Contexte géologique général	25
Les principaux évènements structuraux	27
B/ Les affleurements basiques du Rochail	29
I. La cascade du Lauvitel	29
I.1. Environnement structural	31
I.1.1. Les accidents verticaux N120	31
I.1.2. Les accidents subhorizontaux	31
I.1.3. Les accidents méridiens	33
I.2. Relations entre les formations en présence	33
I.2.1. Généralités	33
I.2.2. L'encaissant	33
I.2.2.1. Le contact acide-basique	33
I.2.2.2. Le granite	35

1.2.3. Le matériel basique	35
1.2.3.1. La monzosyénite porphyroïde	35
1.2.3.2. La syénite	37
1.2.3.3. Le contact monzosyénite-syénite	37
2. Le gisement de Bellecote	39
2.0. Généralités	39
2.1. Environnement structural	39
2.1.1. Les accidents verticaux N120	39
2.1.2. Les accidents subhorizontaux	39
2.2. Relations entre les formations en présence	41
2.2.1. Généralités	41
2.2.2. Le matériel basique	41
2.2.2.1. La monzosyénite	41
2.2.2.2. La syénite	41
3. Les gisements du refuge des Sources	45
3.1. Généralités	45
3.2. Environnement structural	45
3.3. Relations entre les formations en présence	47
3.3.1. Le granite encaissant	47
3.3.2. Le matériel basique	47
3.3.2.1. Arrangement des enclaves dans l'essaim	47
3.4. Conclusion	49
III-2. Le granite du Péou de St Maurice	51
A/ Contexte géologique général	51
B/ Quelques affleurements basiques du Péou	51
III-3. Le granite de Roche Noire (Grandes Rousses)	53
A/ Contexte géologique général	53
B/ Quelques affleurements basiques du Lac Noir	53

Quatrième chapitre

Modèle de mise en place des matériels acide et basique	57
IV -1. Généralités	59
IV -2. Les gisements	59
IV-2.1. Le gisement en essaim	59
2.1.1. Morphologie et orientation des enclaves ovoïdes	61
2.1.2. Mécanismes de déformation du gisement	63
2.1.2.1. Les conditions de déformations	63
2.1.2.2. Viscosité et degré de cristallisation	64
2.1.2.3. Remarques	64
2.1.3. Conclusion	65
IV-2.2. Le gisement en masse compacte	65
2.2.1. Morphologie du gisement	65
2.2.2. Conclusion	66

IV -3. Répartition des gisements dans le massif	66
IV-3.1. Le secteur du refuge des Sources	66
IV-3.2. Le secteur Lauvitel-Bellecote	66
IV-3.3. Conclusion	67
IV -4. Modèle de mise en place des matériels acide et basique du Rochail	67

Cinquième chapitre

	Pétrographie	69
V - 1. But de l'étude		71
V - 2. Le granite du massif du Rochail		71
V-2.1. Généralités		71
V-2.2. Le granite du Rochail s.s.		73
V-2.3. Le granite du Clapier		76
V - 3. La "syénite du Lauvitel"		78
V-3.1. Généralités		78
V-3.2. La syénite porphyroïde (Bellecote)		79
V-3.3. La syénite à feldspath blastique		83
V-3.4. Le facies syénitique de contact		87
V-3.5. La monzosyénite porphyroïde		89
V-3.6. La monzosyénite des Sources		91
V - 4. Conclusion à l'étude de la pétrographie du Rochail		93
V - 5. Le granite de Roche Noire (Grandes Rousses)		97
V-5.1. Généralités		97
V-5.2. Le granite de Roche Noire		97
V-5.3. La syénite de Roche Noire		97
V - 6. Le granite du Péou de St Maurice		99
V-6.1. Le granite du Péou		99
V-6.2. La syénite du Lauvet		100
V-6.3. La syénite des Ballets		100
V-6.4. La monzosyénite des Ballets		101

Sixième chapitre

	Minéralogie	103
VI -1. La biotite		107
VI-1.1. Caractères minéralogiques		107
VI-1.2. Composition chimique		107
VI-1.3. Nomenclature		109
VI-1.4. Roche hôte et association minérale théorique		111
VI-1.5. Domaine de stabilité des biotites		112
VI-1.6. Conclusion		112
VI -2. L'amphibole		113
VI-2.1. Caractères minéralogiques		113
VI-2.2. Composition chimique		113
VI-2.3. Nomenclature		117
VI-2.4. Les substitutions chimiques		117
VI-2.5. Conditions de stabilité		119
VI-2.6. Le couple amphibole-biotite		121
VI-2.7. Conclusion		121

VI -3. Le feldspath alcalin	125
VI-3.1. Caractères minéralogiques	125
VI-3.2. Composition chimique	125
VI-3.3. Conditions de stabilité	127
VI-3.4. Conclusion	127
VI-4. Le feldspath plagioclase	129
VI-4.1. Caractères minéralogiques	129
VI-4.2. Composition chimique	129
VI-4.3. Conclusion	129
VI 5. Les minéraux accessoires	130
VI-5.1. L'apatite	130
VI-5.2. Le sphène	131
VI.6. Conclusion à l'étude minéralogique	132

Septième chapitre

Géochimie	135
VII-1. Classification de la syénite du Lauvitel et de son encaissant	137
VII-1.1. Classification chimico-minéralogique de Streckeisen	137
VII-1.2. Le diagramme de De la Roche	139
VII-1.3. Le diagramme de De la Roche et Leterrier	139
VII-2. Variations géochimiques des syénites	141
VII-2.1. Les diagrammes de type Harker	141
VII-2.2. Le diagramme A.F.M. de De la Roche	143
VII-2.3. Le diagramme Al.F.M. de Besson-Fontailles	143
VII-3. Conclusion à l'étude géochimique	145

Conclusion générale

147

Annexes

Tableau I : Analyses chimiques des roches	155
Tableau II à IX : Analyses chimiques des minéraux	157 à 165
Tableau X : Quelques datations	166
Cartes d'échantillonnages	168
Liste des figures	171
Bibliographie	173

PREMIER CHAPITRE

PRESENTATION DES MASSIFS CRISTALLINS EXTERNES

I-1 Situation

I-2 Contexte géologique et structural

I-2.1 Les évènements hercyniens

I-2.2 Les évènements alpins

I-3 Le massif du Haut Dauphiné

PRESENTATION DES MASSIFS CRISTALLINS EXTERNES

I - 1. Situation

Les Massifs Cristallins Externes (M.C.E.) d'âge paléozoïque représentent le socle ancien des Alpes françaises. Ce sont du Nord au Sud les massifs des Aiguilles Rouges (AR), du Mont Blanc (MB), de Belledonne (B), du Haut Dauphiné (HD) encore appelé massif du Pelvoux ou de l'Oisans, et celui de l'Argentera Mercantour (AM) au Sud-Est.

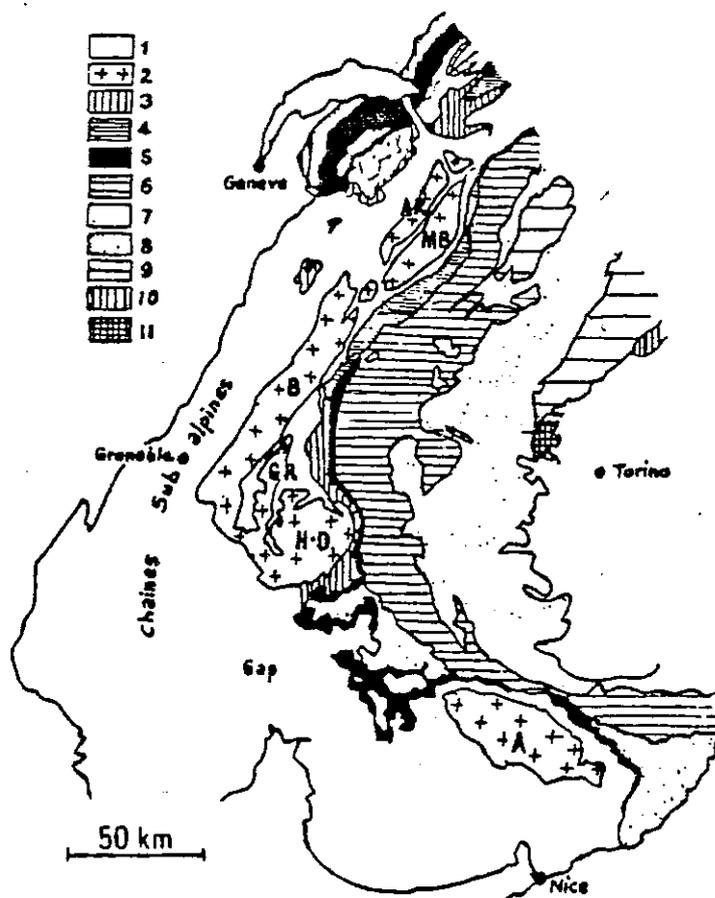
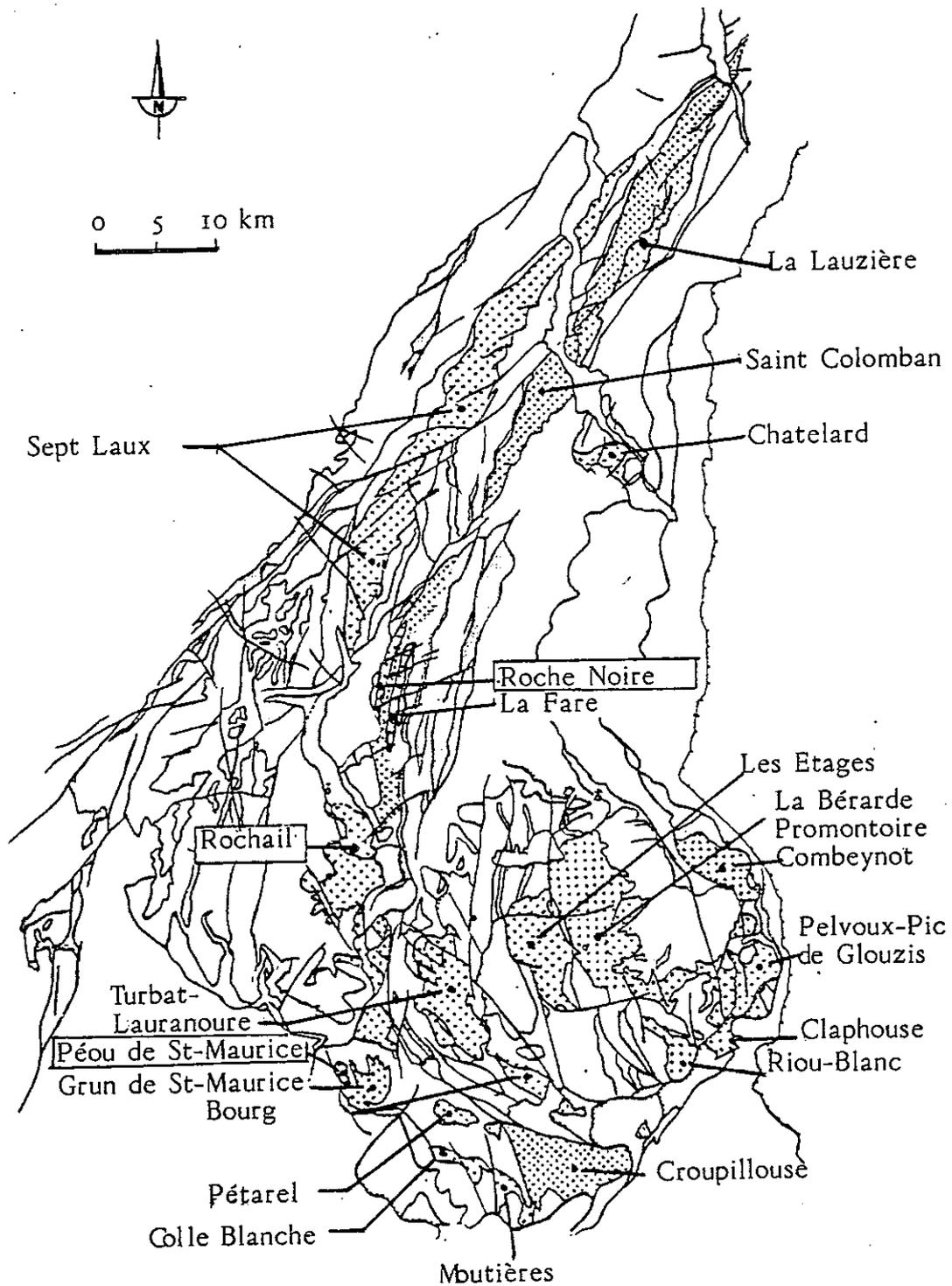


Figure n°1 : Schéma structural des Alpes franco-italiennes
(d'après Demeulemeester 1982)

1. Zone dauphinoise - 2. Massifs Cristallins Externes - 3. Zone ultradauphinoise - 4. Zone valaisane - 5. Zone subbriançonnaise - 6. Zone briançonnaise - 7. Zone des schistes lustrés - 8. Flyschs néocrétacés - 9. Zone Sésia - 10. Zone d'Ivrée - 11. Massif de Lanzo -

Figure n° 2 : Carte schématique des granitoïdes des massifs externes des Alpes et localisation des granites étudiés - (d'après Demeulemeester, 1982)



I -2 Contexte géologique et structural

I-2.1 Les évènements hercyniens

Les séries cristallophylliennes des M.C.E. ont un âge probable briovérien ou paléozoïque inférieur (Le Fort et al.1969 ; dans le Pelvoux ; Faune cambrienne des schistes du groupe d'Huez (Grandes Rousses, Giorgi et al.1979)). Elles ont subi un métamorphisme principal hercynien précoce, acadien, au Nord-Ouest du Pelvoux et dans les Grandes Rousses (373 +/-30 Ma/K-Ar, Demeulemeester 1982) et plus hypothétique dans Belledonne (370-400 Ma, groupe de Saint-Rémy). Ce métamorphisme est de stade moyen à fort et engendre localement une migmatisation (Gros, 1974 ; Gasquet, 1979 ; Verjat, 1980).

Une seconde phase métamorphique plus tardive (330 Ma) affecte le massif de Belledonne, la bordure occidentale (Chaillol, Valjouffrey, Rochail) et le centre du massif du Haut Dauphiné.

D'un point de vue structural, le massif de Belledonne est subdivisé en deux zones par un accident d'importance régionale (accident de Fond de France, du col du Sabot ...) :

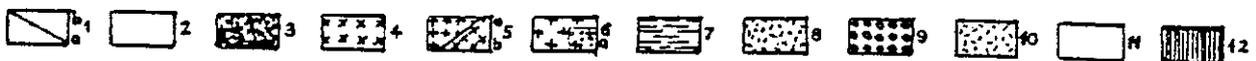
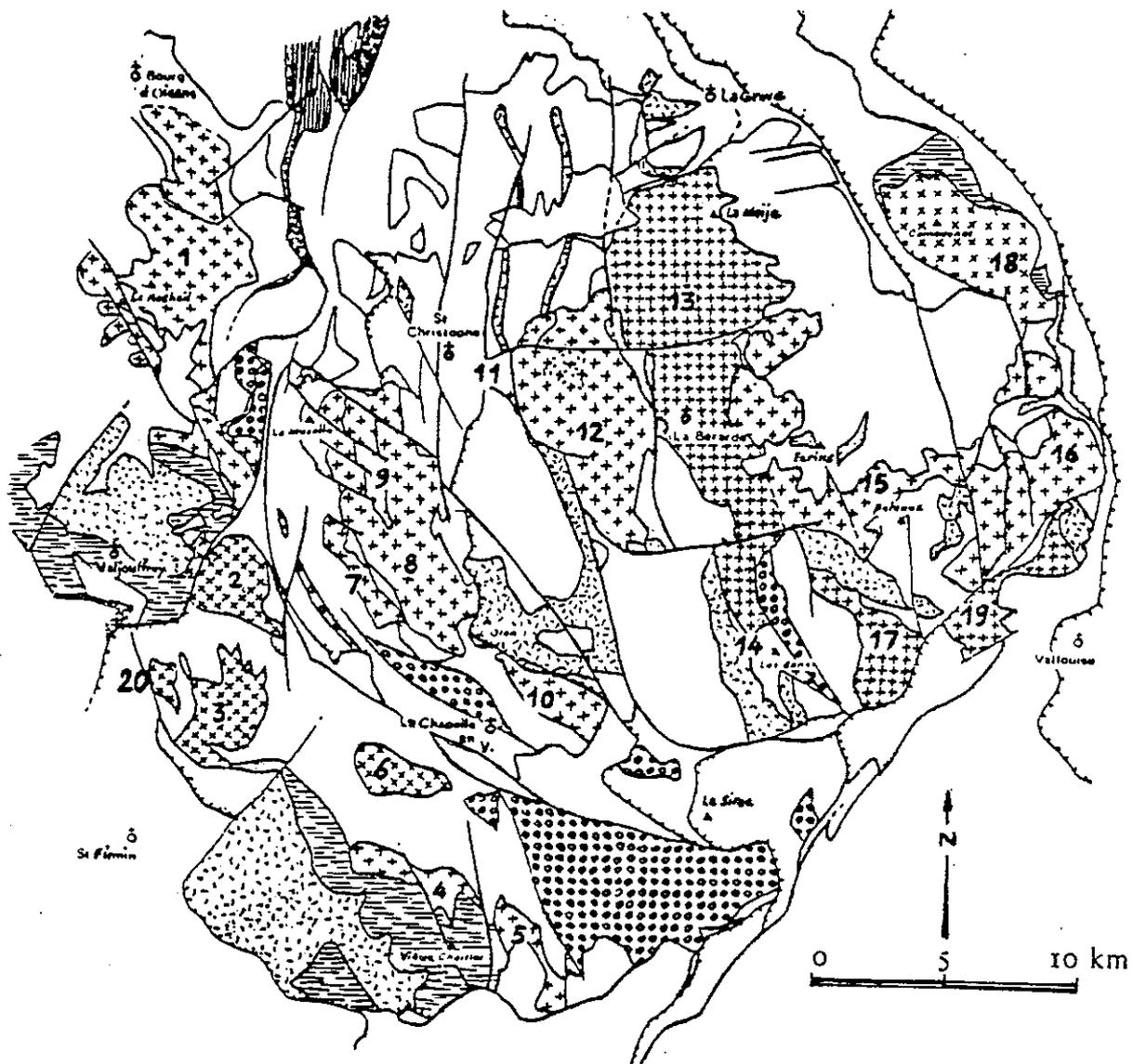
- la zone occidentale correspond à la superposition d'ensembles cristallins Cambrien à Viséen au cours d'une tectonique tangentielle (327 Ma) : Menot et al, 1985.
- les granites anté et syntectoniques se mettent en place au sein de la zone orientale parallèlement à l'allongement de la chaîne et prennent des allures lenticulaires (Sept Laux, Lauzière ...).

Les granites hercyniens des M.C.E. peuvent être classés en trois catégories :

- les granites et granodiorites les plus anciens de l'histoire hercynienne, souvent porphyroïdes sont très déformés et orthogneissifiés (370 Ma) : Col de Monjoie, St Colomban (Belledonne), Alpetta (Grandes Rousses), Crupillouse (Pelvoux), Maliverne (Argentera).
- les granites syntectoniques des Sept Laux et de St Colomban (Belledonne), du Grun et du Pigeonnier (Haut Dauphiné) ... sont associés aux migmatites à cordiérite (330-370 Ma).
- les granites tardifs (300-320 Ma) sont peu ou pas déformés sinon par la tectonique alpine. Entre autres, ce sont les granites de Colle Blanche, Moutière, Péou et Rochail dans le Haut Dauphiné, de Roche Noire et la Fare dans les Grandes Rousses, du Jarnalet et de la Lauzière dans Belledonne.

Lors de la phase de tectonique fini-hercynienne, le Westphalien supérieur et le Stéphanien des M.C.E. sont pincés en synclinaux (Servoz, Aiguilles Rouges ; Herpie, Grandes Rousses ; la Mure, Belledonne Sud) le long d'accidents anté-Permien. Le socle est ensuite érodé et recouvert par des formations triasiques discordantes et transgressives.

Figure n° 3 : Schéma structural du massif du Haut Dauphiné
(d'après Pécher et Le Fort, 1981)



1. Nummulitique - 2. Mésozoïque - 3. Houiller - 4. Granite du Combeynot - 5. Granites à 2 micas (a: granite albitique type de la Bérarde, b: granites porphyroïdes du Grun et de Pétarel) - 6. Granites de la lignée calco-alkaline (a: faciès à cordiérite du Cray) - 7. Série corticale, faciès à prédominance détritique - 8. Série leptyno-amphibolique corticale - 9. Gneiss ocellés des Bans et de Crupillouse - 10. Amphibolite du noyau - 11. Migmatites acides du noyau - 12. Cristallin indifférencié des Grandes Rousses -

- Granites : 1. Rochail - 2. Valsenestre - 3. Grun de Saint Maurice - 4. Colle Blanche - 5. Moutières - 6. Pétarel - 7. Orgières - 8. Turbat-Lauranoure - 9. Berches - 10. Bourg - 11. Graou - 12. Etages - 13. La Bérarde, Promontoire et Giberney - 14. Bans - 15 et 16. Pelvoux-Pic de Glouzis - 17. Riou-Blanc - 18. Combeynot - 19. Claphouse - 20. Péou de Saint Maurice.

1-2.2 Les événements alpins

Le cycle alpin se caractérise essentiellement par des événements tectoniques dont les phases paroxysmales sont cénozoïques (Eocène, Oligocène).

Les accidents majeurs de Belledonne (accident médian, de Fond de France, du col du Glandon) apparus au cours du cycle hercynien, rejouent surtout lors des phases alpines précoces.

Dans le Pelvoux, Le Fort et Pécher (1981) reconnaissent deux étapes majeures :

- une phase de distension apparaît dès la fin du Trias, accompagnée d'un volcanisme effusif (basaltes doléritiques) et intrusif (filons doléritiques) : Buffet et Aumaitre, 1973 ; Vatin-Pérignon, 1974 ; Adline, 1982.

La reconstitution paléostratigraphique en fin de rifting (Dogger moyen) des M.C.E fait apparaître trois blocs basculés plurikilométriques limités à leurs bords orientaux par des failles normales liasiques à pendage Est (Lemoine et al. 1981). La plus occidentale de ces failles est l'accident (ou synclinal) médian divisant en deux rameaux le massif Belledonne (Lory, 1881). L'accident du col du Glandon - col du Sabot se prolongeant par le col d'Ornon (Verjat, 1980), et celui jalonnant le flanc oriental des Grandes Rousses et se poursuivant par le "lineament" d'Aspres les Corps isolent sur un même bloc les massifs du Rochoil et des Grandes Rousses.

A l'échelle du Pelvoux, cette phase de distension se traduit par un découpage du socle en horsts et grabéns par des failles normales. Au cours des rejeux ultérieurs, ces accidents pincent la couverture sédimentaire pour donner les synclinaux liasiques.

- une phase de serrage, NW-SE "antésénonienne" (Gidon, 1979) occasionne ensuite des écaillages et des chevauchements intra-socle. Cette tectonique anténummulitique est importante (rejeu de l'accident de la Meije : 130 à 80 Ma) particulièrement sur la bordure occidentale du Pelvoux (Demeulemeester, 1982).

Les plissements transverses du domaine Vocontien (Diois, Devoluy) sont une autre expression de cette phase compressive.

La phase tectonique post-Nummulitique, plus discrète, fait rejouer occasionnellement les chevauchements antérieurs. Elle se traduit également à l'échelle du Pelvoux par le jeu coulissant des blocs en mosaïque (Gidon, 1979).

Selon le modèle d'évolution des Alpes françaises proposé par Vialon (1974) et Boudon et al. (1976), toutes ces déformations seraient les conséquences d'une seule phase de serrage Nord-Sud dans une mosaïque de blocs limités par des failles.

I- 3 Le massif du Haut Dauphiné (Fig. 3)

Le massif du Haut Dauphiné a fait l'objet depuis 1970 d'un certain nombre de travaux afin de dégager ses caractères pétrographiques et structuraux jusqu'alors très mal connus (Ozocak, 1965 ; Barbiéri, 1970 ; Lacombe, 1970 ; Pécher, 1970 ; Bartoli, 1973 ; Le Fort, 1973 ; Biju Duval, 1975 ; Costarella, 1986).

En particulier, Le Fort (1971, 1973) subdivise les formations cristallophyliennes du Pelvoux d'après le degré de métamorphisme qu'elles ont atteint au cours du cycle hercynien :

- le noyau migmatitique comprend l'essentiel du haut massif (Champoléon, Valgaudemar, haut Vénéon, haute Romanche)
- la zone occidentale mésozonale ou corticale (Chaillol, bas Valgaudemar, bas Valjoutrey, Taillefer)

A partir des caractères chimico-minéralogiques, Pécher (1986) définit deux groupes parmi les massifs granitiques fini-hercyniens de la partie occidentale du Pelvoux couverte par les cartes au 1/50 000° de la Mure, St Christophe et Orcières :

- les granites monzonitiques (Turbat, l'Alffrey, Pic de Valsenestre, Orgières)
- les granites alumino-sodiques à deux micas à dominante leucocrate dans lesquels le plagioclase est proche de l'albite (Colle Blanche, Moutières, Vallon, la Chalp, Grun, Péou de St Maurice), groupe dans lequel il classe également le Rochail.

Ces granites présentent pour la plupart des enclaves sombres très micacées que Pécher dénomme Vagnérites ("Syénite du Lauvitel" de Termier dans le Rochail, 1896) par analogie avec celles décrites dans le Lyonnais et le Vivarais (Bellanger, 1980).

Ce type d'association acide basique caractéristique de la ceinture (ou "cortex") occidentale du Pelvoux (Colle Blanche, Moutières, Péou, Rochail) se poursuit plus au Nord par le granite de Roche Noire dans les Grandes Rousses, puis le St Colomban et la Lauzière dans le massif de Belledonne (Fig. 2) Boisset et al. (1984).

DEUXIEME CHAPITRE

LES ASSOCIATIONS ACIDE-BASIQUE DANS LES ALPES

II - 1. Etudes préliminaires dans les Alpes

II - 2. Terminologie

II - 3. Origine

II - 3.1. L'hypothèse des magmatistes

II - 3.2. L'hypothèse des métasomatistes

II - 4. But de l'étude

Univ. J. Fourier - O.S.U.G.
MAISON DES GEOSCIENCES
DOCUMENTATION
B.P. 53
F. 38041 GRENOBLE CEDEX
Tél. 04 76 63 54 27 - Fax 04 76 51 40 58
Mail : pialour@ujf-grenoble.fr

LES ASSOCIATIONS ACIDE-BASIQUE DANS LES ALPES

II-1. Etudes préliminaires dans les Alpes

Parmi les batholites granitiques des M.C.E. cités par Pécher (Notice de la carte la Mure -1986), seul le massif du Rochail au Nord-Ouest du Pelvoux a fait l'objet de travaux concernant l'association acide-basique.

Termier signale le premier, en 1896, en bordure Sud-Est du massif du Rochail, les gisements dénommés par lui "Syénite du Lauvitel" (Fig. 4). Après en avoir étudié la minéralogie et tout particulièrement les sphènes qu'elles contiennent en abondance, il les interprète comme de simples produits de différenciation du granite encaissant.

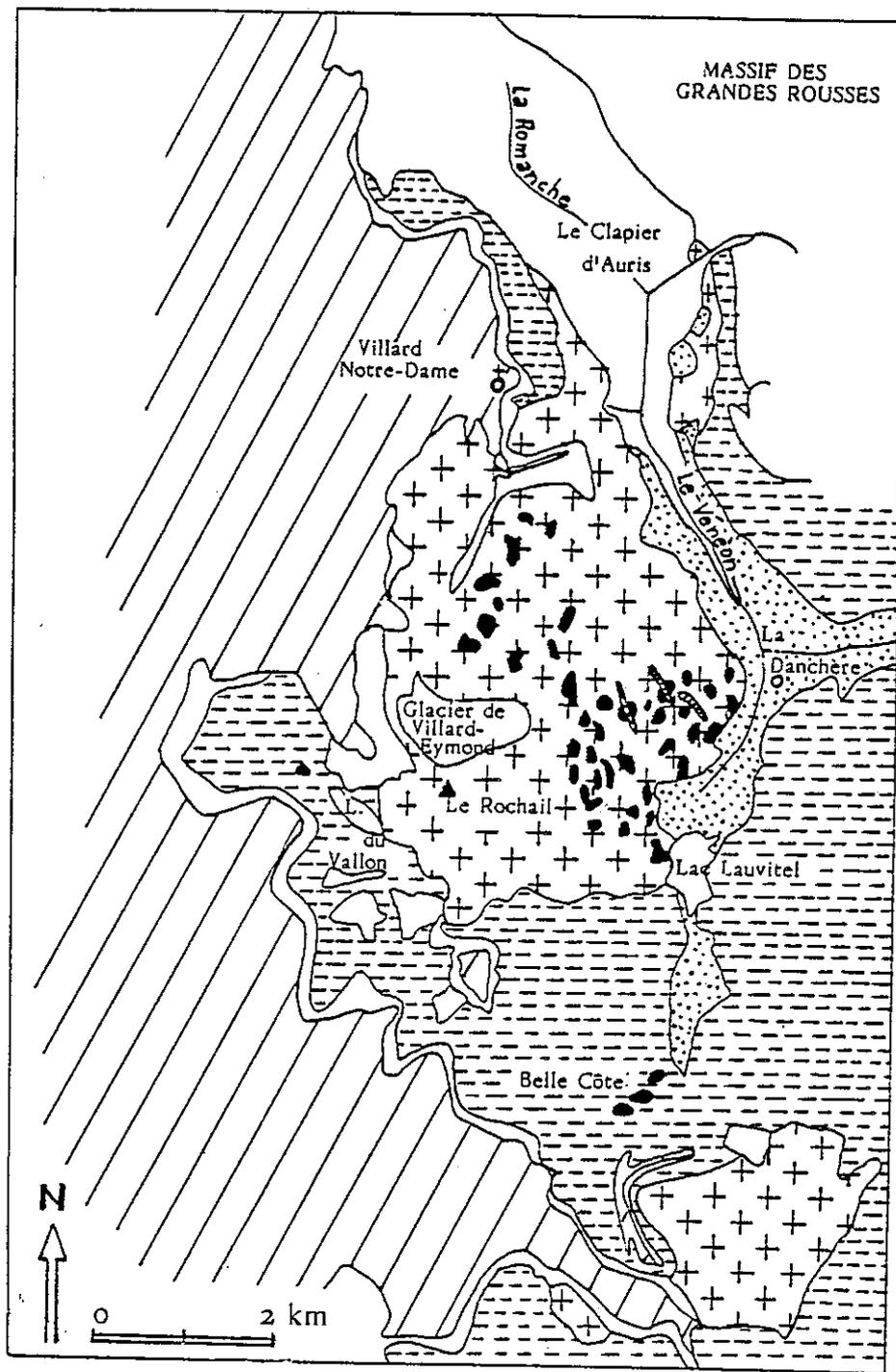
Quarante ans plus tard, Bellair (1938) conclut à une assimilation incomplète des schistes cristallins encaissant le granite du Rochail et qui constituent le flanc oriental du Vallon du Lauvitel.

Revenant sur l'idée de la parenté granite-enclave émise par Termier au début du siècle, Giraud (1952) pense qu'il s'agit d'une variation locale dans les zones amphiboliques avec diminution des teneurs en quartz ; ceci sous-entendant une origine métasomatique de ces roches.

Après avoir comparé "les syénites du Lauvitel" avec les vaugnérites réétudiées par Palm (1954) et Peterlongo (1958) dans les Cévennes médianes et le Lyonnais, Michel et Buffière (1964) invoquent la métasomatose silico-potassique pour en expliquer l'origine. La nature envahissante du microcline dans ces facies en serait la preuve. Pour ces auteurs, la roche éruptive originellement dioritique subit postérieurement une granitisation lors de la phase terminale de mise en place du granite du Rochail.

Aucune étude similaire ne porte sur le granite du Péou de St Maurice (Ouest du Pelvoux) ou le granite de Roche Noire (flanc Ouest des Grandes Rousses) situé respectivement au Sud et au Nord du massif du Rochail.

Figure n° 4 :
Detail de la carte géologique 1/80000° de Briançon, ed. 1901 - n°189 -
- le granite du Rochail et les affleurements de syénite du Lauvitel -
Relevés de Termier (1896)



Légende de la carte 1/80000°

- | | | | |
|---|--|---|--|
|  | éboulis de pente |  | schistes granitisés ou injectés d'aplite |
|  | lias calcaire
(synclinal d'Ornon) |  | granite du Pelvoux |
|  | dolomies, cargneules
schistes et métaphyres |  | syénite du Lauvitel
et orthophyre. |

II - 2. Terminologie

Dès 1836, Fournet décrit une roche ayant un aspect dioritique riche en amphibole et en lattes de biotite près de Vaugneray dans le massif du Lyonnais et lui attribue tout naturellement le nom de Vaugnérite.

D'autres gisements sont découverts par la suite dans les Vosges (Delesse, 1851), dans le Haut Vivarais (Fournet, 1861) et dans le massif du Rochail dans les Alpes (Termier, 1896).

Les premiers essais de classification dans la systématique des roches éruptives grenues sont dues à Daubree (1867) qui en fait un "kersanton" (lamprophyre).

Lapparent (1886) rapproche les vagnérites des pyroxénites, alors que Riche, Michel Lévy et Lacroix (1887) concluent à un granite à amphibole.

Se basant sur une autre classification des roches éruptives, Lacroix (1917) constate la particularité chimico-minéralogique de cette roche, traduite par une légère sous-saturation en quartz exprimée dans le calcul normatif théorique. Il confirme l'appellation de vagnérite donnée par Fournet.

Classée dans les granodiorites par Tröger (1935) et dans les tonalites par Johannsen (1939), cette roche est considérée comme une granodiorite mélanocrate à biotite et amphibole pauvre en quartz par Jung et Brousse (1959).

Si cette classification n'a pas été rediscutée depuis lors dans le Lyonnais et le Vivarais, il semble, dans la plupart des cas, que le terme de diorite soit impropre aux enclaves de type vagnéritique du Rochail.

Comme cela apparaîtra au cours du chapitre consacré à la pétrographie, ces roches s'avèrent être très pauvres en plagioclase (oligoclase) et quartz par rapport aux teneurs en feldspath alcalin. Ainsi, dans la classification minéralogique des roches éruptives de Streckeisen (1973), le terme de Syénite adopté par Termier est le plus adapté, bien que ne faisant aucune référence à l'importante fraction de minéraux sombres.

Cette appellation sera conservée tout au long du mémoire pour désigner les roches basiques amphibolo-biotitiques du Rochail, et par extension, pour celles étudiées à titre de comparaison dans les granites du Péou de St Maurice (Pelvoux) et de Roche Noire (Grandes Rousses).

II-3. Origine

Palm (1954) débute de nouvelles recherches sur les vagnérites, principalement celles du Massif Central. A la suite de ses travaux, deux grandes tendances se dessinent quant à l'interprétation de ces roches.

II-3.1. L'hypothèse des magmatistes.

Soutenue dès l'origine par Fournet (1861) et Lacroix (1917), c'est aussi celle adoptée par Palm (1954) en conclusion de ses travaux. Il interprète les enclaves vagnéritiques des granites porphyroïdes de Largentière et de Roubreaud (Monts du Lyonnais) comme issus d'une différenciation basique du magma granitique. Il tient cependant le métamorphisme régional pour responsable de la carapace biotitique des enclaves de gneiss du Tanargue.

A sa suite, Gagny (1978) voit dans les enclaves du granite des Crêtes (Vosges) le produit d'une accumulation de ferromagnésiens en "culot de gisement" dans un magma granitique.

Plus récemment, Bellanger (1980) étudie la multiplicité des facies pétrographiques que revêtent les vagnérites des Cévennes médianes. S'appuyant principalement sur ses observations du gisement de Rocles, il conclut à l'écaillage du "culot" basique du laccolite granitique.

En parlant de mise en place de magma basique de composition vagnéritique, Palm (1957) esquisse une autre voie de recherche, mettant en cause le syngénétisme des magmas acide et basique.

Couturié (1977), dans le massif de la Margeride, envisage la mise en place synchrone avec le granite encaissant d'un matériau provenant de la fusion partielle de la croûte profonde à un niveau non encore granitisé.

Après une étude chimico-minéralogique minutieuse des vagnérites du Lyonnais et du haut Vivarais, Michon (1979), tout en soulignant les affinités de ces roches avec les kersantites, suppose une origine mantellique du magma originel de composition vagnéritique. Celui-ci pourrait appartenir à l'association shoshonitique. La nature magmatique et intrusive de ce matériel est mise en évidence dans le Massif Central.

Confirmant ce mode de mise en place et les affinités lamprophyriques, Sabatier (1978, 1980) nie les effets du métasomatisme. L'association de granite et de vagnérite serait due à un bimagmatisme acide-basique avec participation d'un magma lamprophyrique d'origine sous-crustale.

Implicite, la notion d'immiscibilité des magmas acide et basique serait invoquée comme un mécanisme important de la montée et de la mise en place de ces associations (Sabatier, 1982 ; Marre, 1982).

II-3.2. L'hypothèse des métasomatistes.

La transformation de la quasi-totalité d'une roche basique éruptive dans des conditions proches de l'anatexie expliquerait, pour certains auteurs, les particularités chimico-minéralogiques des vagnérites.

Parmi eux, Camboly (1966) voit dans les enclaves des granites de la région du Vic Habeauru (Vosges) la remobilisation de filons lamprophyriques lors d'une phase de granitisation régionale.

Didier (1964) insiste sur les effets du métamorphisme régional et de la granitisation sur "les roches basiques canoniques" à l'origine des enclaves du granite du Velay. Ces conditions seraient celles du faciès amphibolite de basse pression avec environnement acide assez voisines d'un modèle théorique établi plus tard par Weisbrod (1970). Cette dernière interprétation de métasomatose potassique d'un magma basique dans de telles conditions est réfutée notamment par Sabatier (1982, 1985) à partir des caractères structuraux et minéralogiques observés dans les vagnérites.

II-4. But de l'étude

La région Nord-Ouest du Pelvoux et Ouest des Grandes Rousses sur laquelle porte la présente étude est couverte par les cartes géologiques en 1/50 000^e de la Mure et de Vizille.

Ce travail est axé principalement sur le massif granitique du Rochail et ses enclaves basiques (Syénite du Lauvitel).

En premier lieu, il est nécessaire de définir les relations spacio-temporelles des associations acide-basique.

Deux objectifs principaux sont fixés à l'étude pétrographique et minéralogique des faciès en présence :

- reconstituer les paragenèses anciennes rendant compte de la nature des roches basiques aux stades les plus anciens possibles.
- infirmer ou confirmer l'influence des phénomènes métasomatiques dans les processus de transformations des matériels acide et basique.

Le troisième objectif est de déterminer le niveau de métamorphisme atteint dans le massif du Rochail et sa compatibilité avec les observations du terrain.

Le but final de cette étude est, d'une part, de déterminer s'il y a consanguinité entre les matériels acide et basique, et d'autre part, de cerner leur(s) origine(s) afin de proposer un schéma de mise en place.

TROISIEME CHAPITRE

LES ENCLAVES BASIQUES

DU MASSIF DU ROCHAIL

DU PÉOU DE SAINT MAURICE, DES GRANDES ROUSSES

III - 1. Le granite du Rochail (Pelvoux)

A/ Contexte géologique général

B/ Les affleurements basiques du Rochail

1. La cascade du Lauvitel
2. Le gisement de Bellecote
3. Le refuge des Sources

III - 2. Le granite du Péou de Saint Maurice (Pelvoux)

A/ Contexte géologique général

B/ Quelques affleurements basiques du Péou

III - 3. Le granite de Roche Noire (Grandes Rousses)

A/ Contexte géologique général

B/ Quelques affleurements basiques du Lac Noir

LES ENCLAVES BASIQUES DU MASSIF DU ROCHAIL,

DU PEOU DE SAINT MAURICE, DES GRANDES ROUSSES.

III-1. Le granite du Rochail (Pelvoux) (Fig. 5)

A/Contexte géologique général

Le massif cristallin du Rochail affleure sur environ 34 km² au sein de séries cristallophylliennes migmatitiques. L'arête sub-méridienne culminant vers le Sud au Rochail (3050m) constitue l'épine dorsale de ce massif. Il est limité à l'Ouest par le synclinal mésozoïque d'Ornon-Bourg d'Oisans et l'effondrement du lac du Vallon, et au Sud par la dépression du Lauvitel et de Plan Vianney. Le granite affleure à nouveau encore plus au Sud au lieu dit Combe de Bellecote, au fond du vallon de la Pisse, dans le prolongement de la dépression du Lauvitel.

A l'Est, la vallée du Vénéon entaille profondément le flanc du massif, isolant au Clapier d'Auris en rive droite quelques lambeaux de granite sous les migmatites de Bourg d'Oisans.

Les contacts de l'intrusion granitique sont nettement recoupants sur l'encaissant. Les accordances tectoniques sont postérieures à la mise en place fini-hercynienne. Cependant, le granite du Rochail est synchrone des dernières phases tectoniques majeures hercyniennes bien visibles en particulier dans le massif de Belledonne (327 Ma).

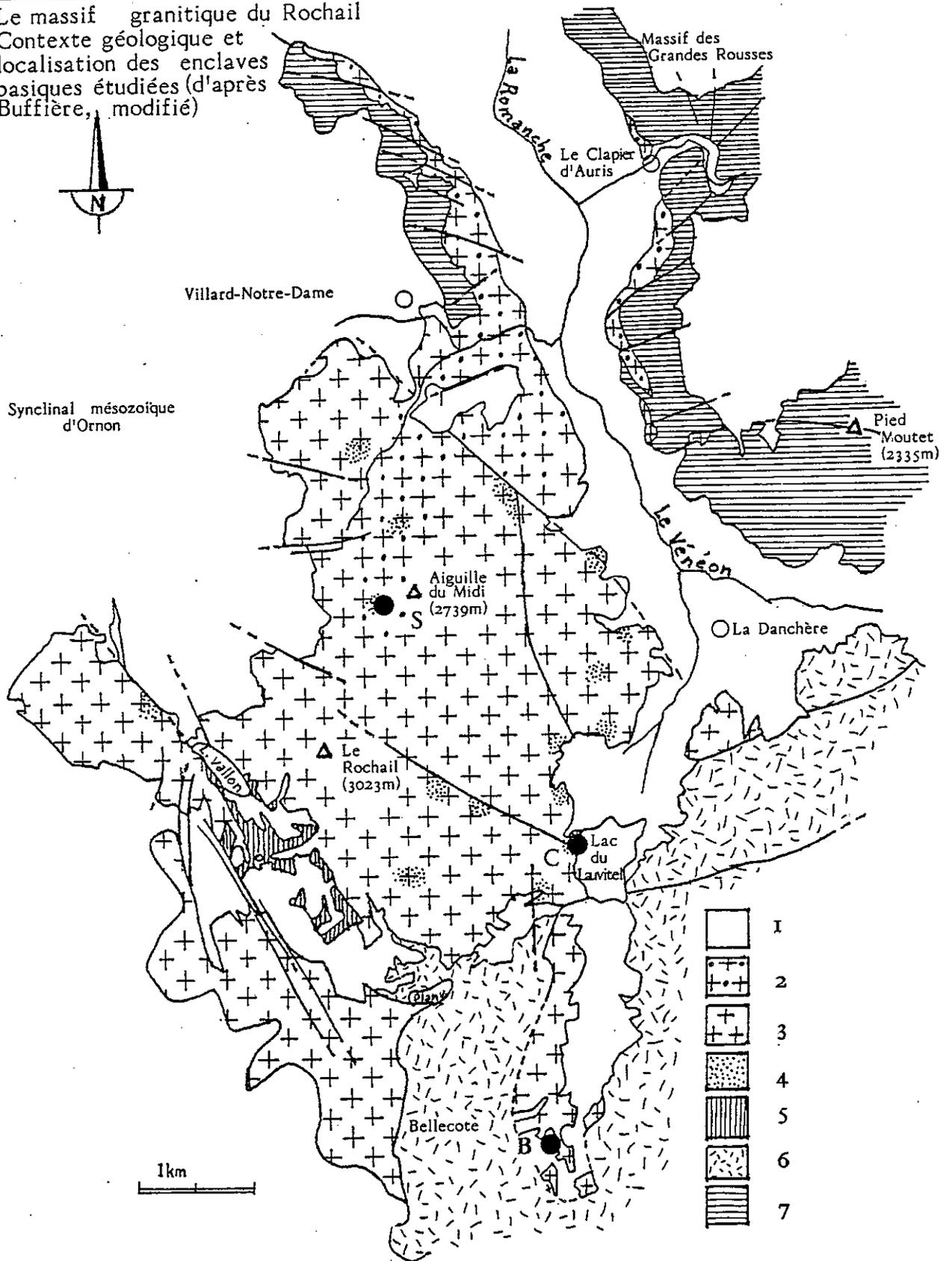
Le granite du Rochail a été subdivisé d'après des critères texturaux en deux sous-unités entre lesquelles le passage est progressif. Ce sont :

- le granite du Rochail s.s

Ce granite hololeucocrate affleure sur les 4/5 du massif. Il possède dans le cas le plus général une texture grenue isogranulaire équante à tendance microporphyroclastique. Ses teintes grises tendent vers le verdâtre lorsqu'il s'enrichit en biotite chloritisée.

Figure n° 5 :

Le massif granitique du Rochail
Contexte géologique et
localisation des enclaves
basiques étudiées (d'après
Buffière, modifié)



1) couverture secondaire et quaternaire - 2) granite du Clavier - 3) granite du Rochail s.s. -
4) enclaves type syénite du Lauvitel - 5) gneiss du Vallon - 6) formation cristallophylienne
indifférenciée du Pelvoux - 7) gneiss de Bourg d'Oisans.

Affleurements de syénite plus particulièrement évoqués dans cette étude : ● :

C : Cascade du Lauvitel

B : Bellecote

S : Refuge des Sources

- le granite du Clapier

Cette dénomination, attribuée par Giraud (1952) à l'un des lambeaux granitiques isolé au Clapier d'Auris et reprise par Buffière (1964) concerne un granite rosé à rose verdâtre à tendance porphyroïde mais minéralogiquement très semblable au granite du Rochail s.s.

Ce facies constitue la bordure Nord du massif, depuis les falaises de Côte Dure, près du refuge des Sources, jusqu'au Clapier d'Auris, formant ainsi un apex du granite du Rochail s.s.

Dans l'un et l'autre de ces facies, il a été recensé (Termier, 1896, Fig.4) un certain nombre d'affleurements de syénite d'extension hectométrique pour les plus étendus. Leur aspect généralement massif dans le granite du Rochail s.s contraste avec les essaïms de boules décimétriques à métriques plus fréquents dans le facies Clapier.

Des lambeaux de gneiss de Bourg d'Oisans figurent parmi les enclaves enallogènes du granite. Un important panneau dressé et plaqué contre le granite est notamment visible au-dessus du hameau des Gauchoirs à l'Est du massif (Fig. 11).

Le cortège intrusif est complété par des filons d'aplite souvent concordant avec la foliation des gneiss encaissants ou même au sein du granite. La position recoupante ou plus rarement recoupée de ces filons aplitiques par le granite reflète pour Giorgi (1979) une mise en place en cours ou en fin de cristallisation du magma.

Les principaux événements structuraux

La mise en place du batholite granitique du Rochail à la jonction des massifs de Belledonne, des grandes Rousses et du Haut Dauphiné est datée du Viséen (331 +/-31 Ma/Rb-Sr, Demeulemeester, 1982; 319 +/-9 Ma et 327 +/-16 Ma/Rb-Sr, Bonhomme et al. 1963). Le métamorphisme de contact lié à cette granitisation reste limité à la partie Sud des schistes d'Huez Vaujany.

Le batholite subit par la suite les effets de la tectonique cassante alpine et n'est d'ailleurs plus affecté sensiblement par un métamorphisme important.

Parmi les accidents liés à la phase tectonique alpine, le plus visible est le pincement de l'importante charnière liasique par le granite du Rochail au-dessus de Villard Notre-Dame (Fig. 5).

Les descriptions détaillées de Termier (1896) puis Vernet (1965) soulignent, à la Brèche du Lauvitel au Sud du massif, (Figure 4) la juxtaposition d'une charnière synclinale liasique pincée dans le socle antétriasique et d'un accident chevauchant, tous deux déversés vers l'Ouest.

- la prolongation de la structure synclinale suit l'axe de la dépression du Lauvitel vers le Nord pour rejoindre la vallée du Vénéon. D'autres structures de même type sont visibles à la Brèche du Perier et au col du Vallon.

- l'accident chevauchant vers l'Ouest superpose les séries cristallophylliennes du Clapier du Peyron et quelques lambeaux de granite au granite du Rochail. Le pendage de cet accident oscille entre 40 et 60° vers l'Est.

B/ Les affleurements basiques du Rochail

Il ne s'agit pas d'une étude exhaustive de l'ensemble des sites d'enclaves basiques précédemment répertoriés par Termier (1896). (Fig.4).

Seuls trois gisements ont été plus spécialement étudiés en raison de leurs caractères structuraux et de la diversité de leurs facies pétrographiques et/ou minéralogiques. Ce sont (Fig 5) :

- la cascade du Lauvitel
- le gisement de Bellecote -ruisseau du Pis Salé
- les gisements des Sources - Aiguille du Midi

L'échelle d'investigation (1/1000° environ) est sans rapport avec les cartes topographiques disponibles. Cependant, les relevés cartographiques des gisements présents dans ce chapitre ont été menés avec le plus grand soin mais restent soumis à l'imprécision des moyens utilisés sur le terrain et à la topographie accidentée de certains secteurs.

Disloquée au pied des falaises de la bordure orientale du massif granitique du Rochail, sur une distance de l'ordre du km, une succession apparemment discontinue d'affleurements (1 à 100m) de roche grenue sombre apparaît sous les éboulis. D'autres gisements volumineux entrecoupent les falaises dominant le lac en formant de larges balcons herbeux d'allongements sub-méridiens.

Limitée au Sud par un faisceau de grands accidents verticaux, (cascade du Lauvitel), cette suite d'affleurements s'oriente approximativement selon un axe Nord-Sud en direction du hameau des Gauchoirs.

1. La cascade du Lauvitel

Le gisement de syénite étudié au lieu dit cascade du Lauvitel surplombe d'une centaine de mètres en rive gauche le lac du Lauvitel. Le sentier menant au Lac de Plan Vianney, au Sud du massif, traverse ces affleurements de syénite et en facilite ainsi l'accès.

Le gisement de la cascade du Lauvitel rappelle par sa morphologie actuelle en talus herbeux les enclaves en balcons dans les falaises. Ses formes émoussées contrastent avec la verticalité et l'aspect rugueux du granite. (Fig7).

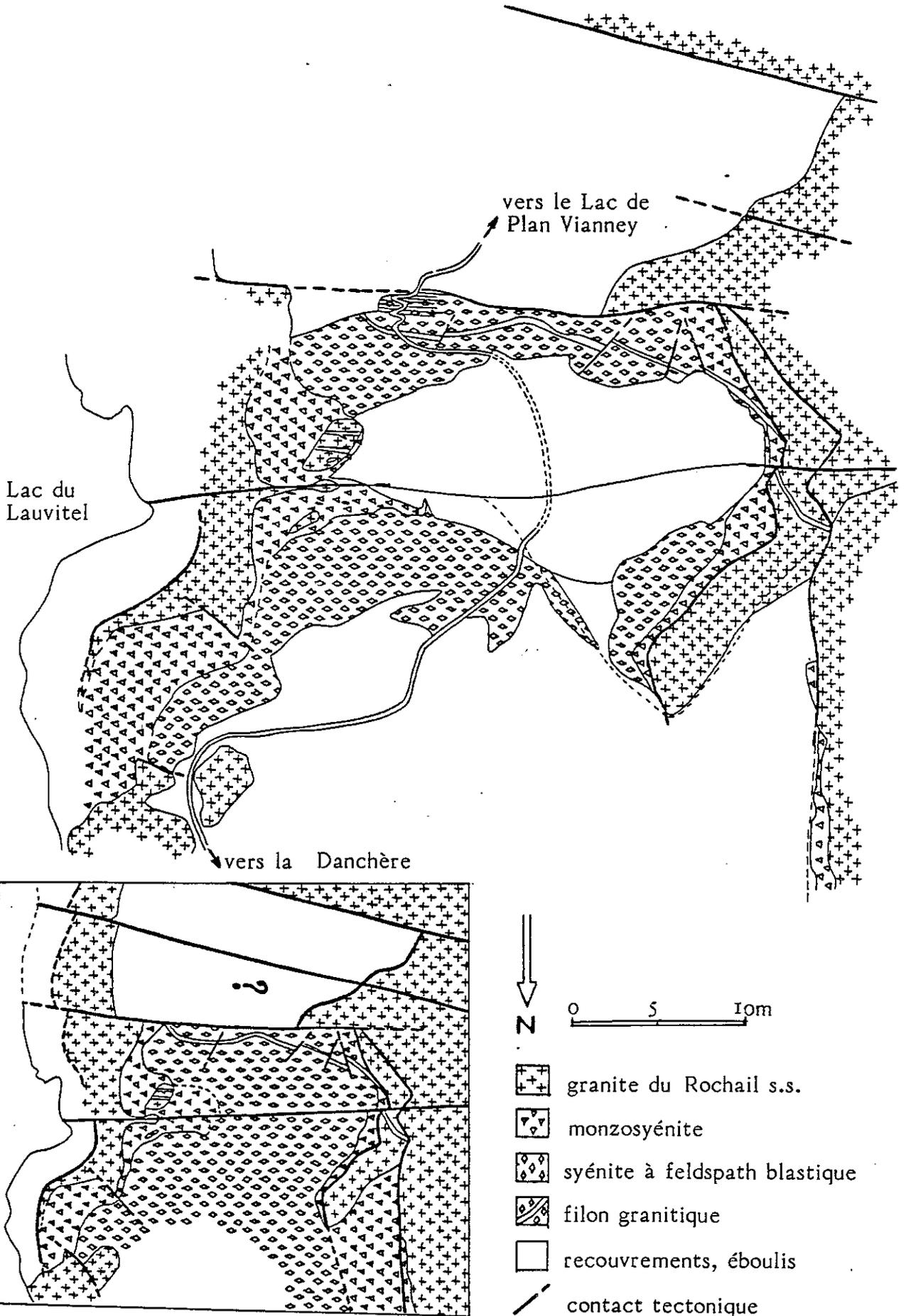
Figure n° 6 : Cartographie des affleurements de syénite de la Cascade du Lauvitel (Rochail) et schéma structural - Carte La Mure n°4 1/20000°

X = 893.4

Y = 303.3

Z = 1550 m

Lambert III



1.1 Environnement structural (Fig.7 et 8)

Deux familles d'accidents (verticaux N120 et subhorizontaux) influencent notablement la structure actuelle des gisements de syénite du Rochail et en particulier celui de la cascade du Lauvitel. Une troisième famille d'accidents d'orientation méridienne à fort pendage Est est plus spécifique aux affleurements des falaises du Lauvitel.

Ces familles d'accidents sont par âge croissant :

1.1.1 - Les accidents verticaux N120

La densité de ces accidents orientés sensiblement N120 est faible dans le massif du Rochail (20 à 100m en moyenne). Ils décalent le pied de falaise tout au plus de quelques dizaines de mètres.

L'une de ces failles, ou faisceau de failles, a laissé une importante empreinte verticale dans le granite au dessus du lac du Lauvitel. Son tracé très visible sur photo aérienne se dessine du côté du refuge des Sources, franchit les crêtes surplombant la combe de Malhaubert au Sud de l'Aiguille du Midi et plonge en direction du Lac, découpant au passage le gisement de la cascade du Lauvitel.

Ces accidents verticaux tronquent par des décalages senestres successifs l'enclave basique de la cascade du Lauvitel à sa terminaison sud. Le talus herbeux en continuité de gisement est alors interrompu dans cette direction par une barre granitique.

L'affaissement du compartiment Nord, difficilement évaluable, reste malgré tout très modeste (de l'ordre du mètre) et décale les accidents subhorizontaux antérieurs.

1.1.2 - Les accidents subhorizontaux

Ces failles dont les faibles pendages vers l'Est et surtout vers l'Ouest sont fréquents (10 à 40°), tronçonnent le gisement en panneaux de cinq à vingt mètres d'épaisseur. les matériels acide et basique se trouvent parfois au contact l'un de l'autre (Fig. 7).

Le décalage de l'ordre de la dizaine de mètres de chacun de ces accidents fait chevaucher le gisement vers l'Ouest. A la cascade du Lauvitel, ces failles planes sont légèrement décrochées par les failles verticales (1m).

Le caractère chevauchant de ces accidents, semblable à celui plus important de la Brèche du Lauvitel, est en relation avec une phase de serrage antésénonienne (Gidon, 1979).

Figure n° 7 : Bloc diagramme du secteur de la Cascade du Lauvitel

X = 893.4 Y = 303.3 Z = 1550 m

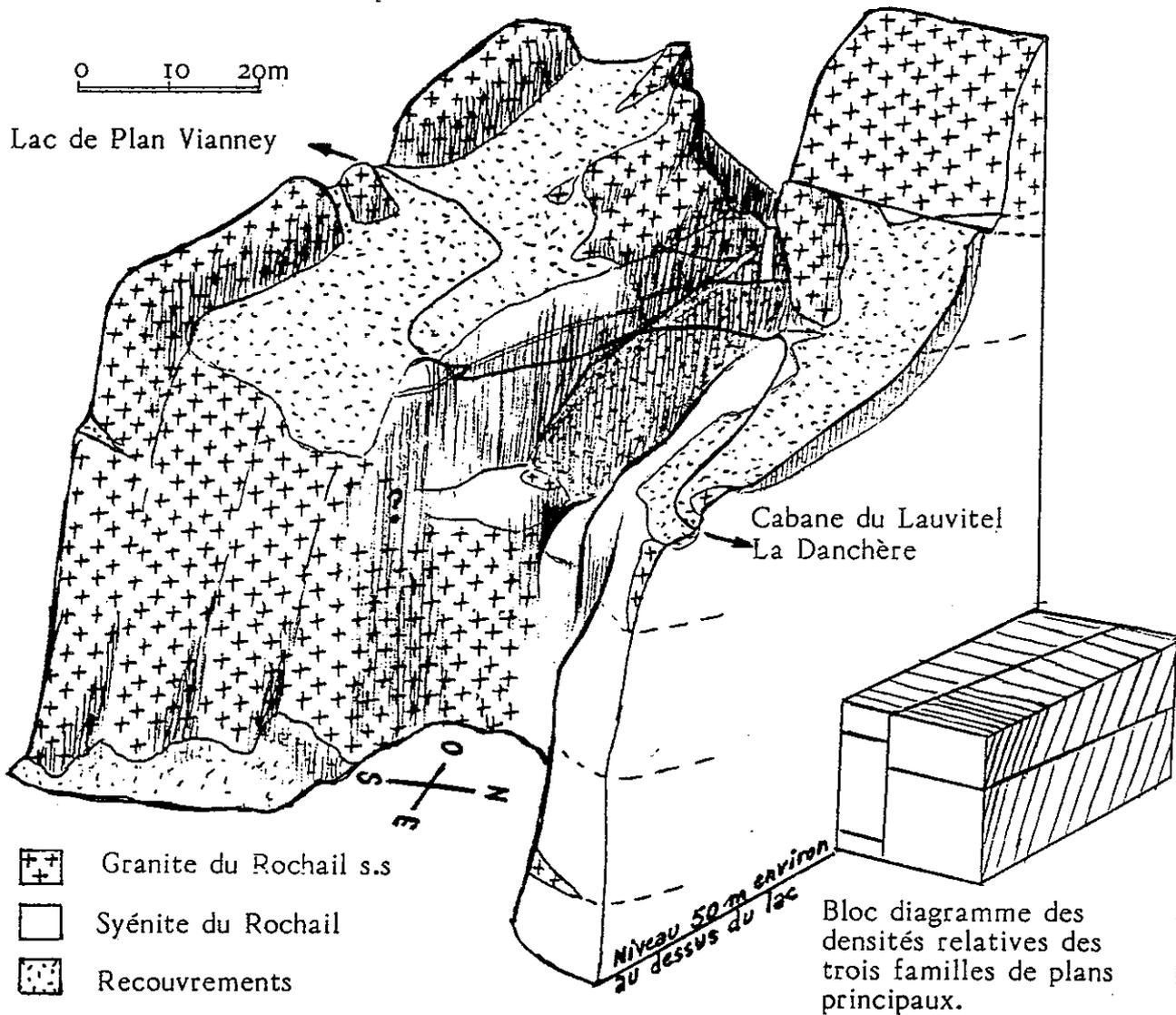


Figure n° 8 : Mouvements relatifs des trois familles de plans principaux

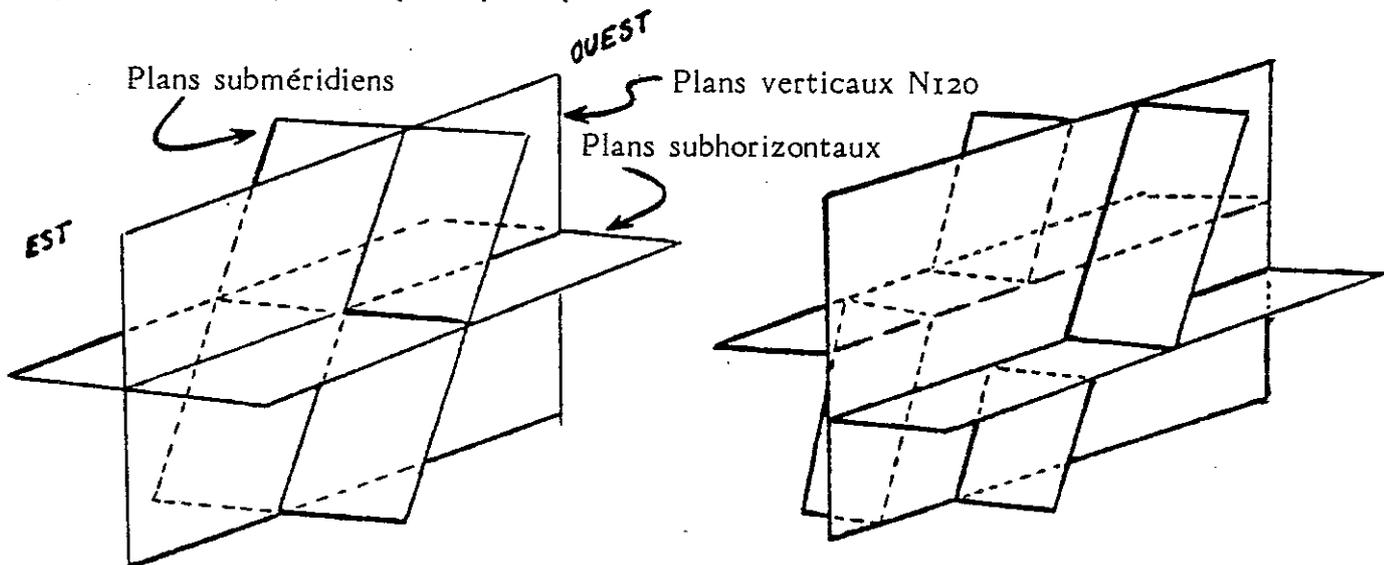


Figure n° 9 : Relation acide-basique . Cascade du Lauvitel (Rochail).

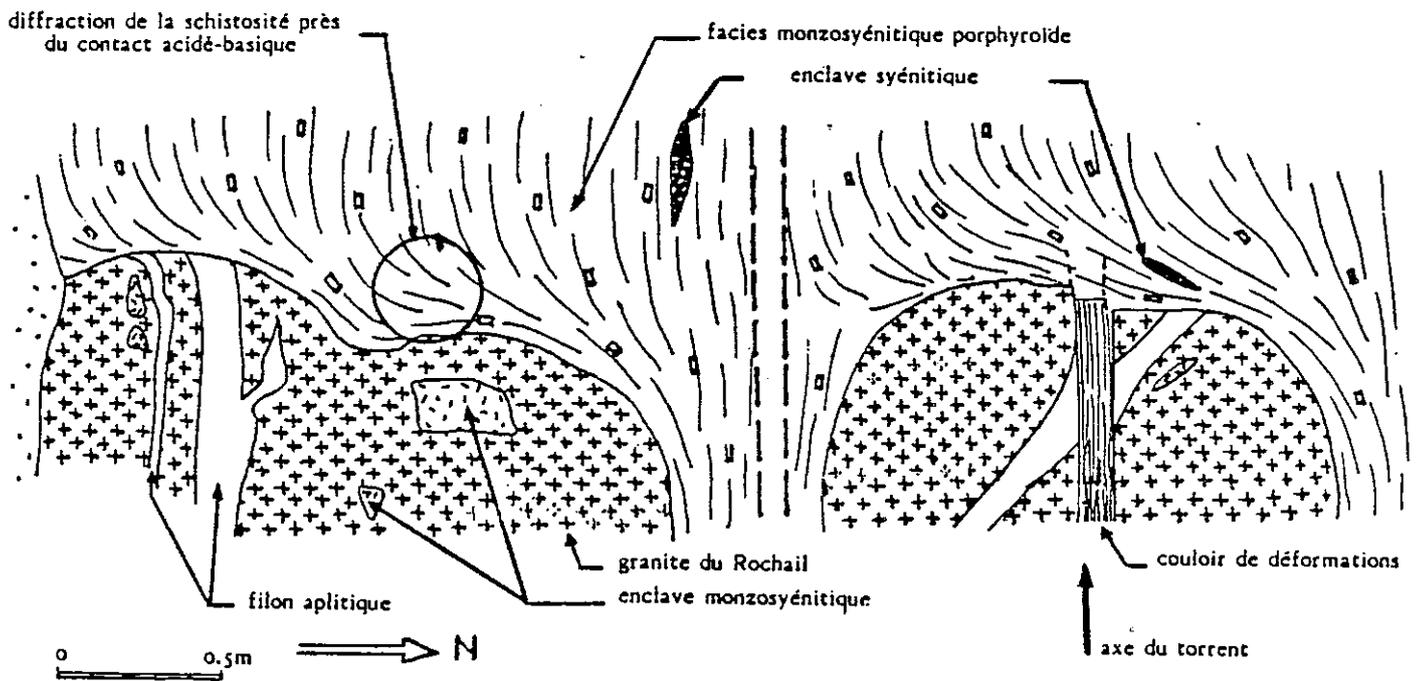
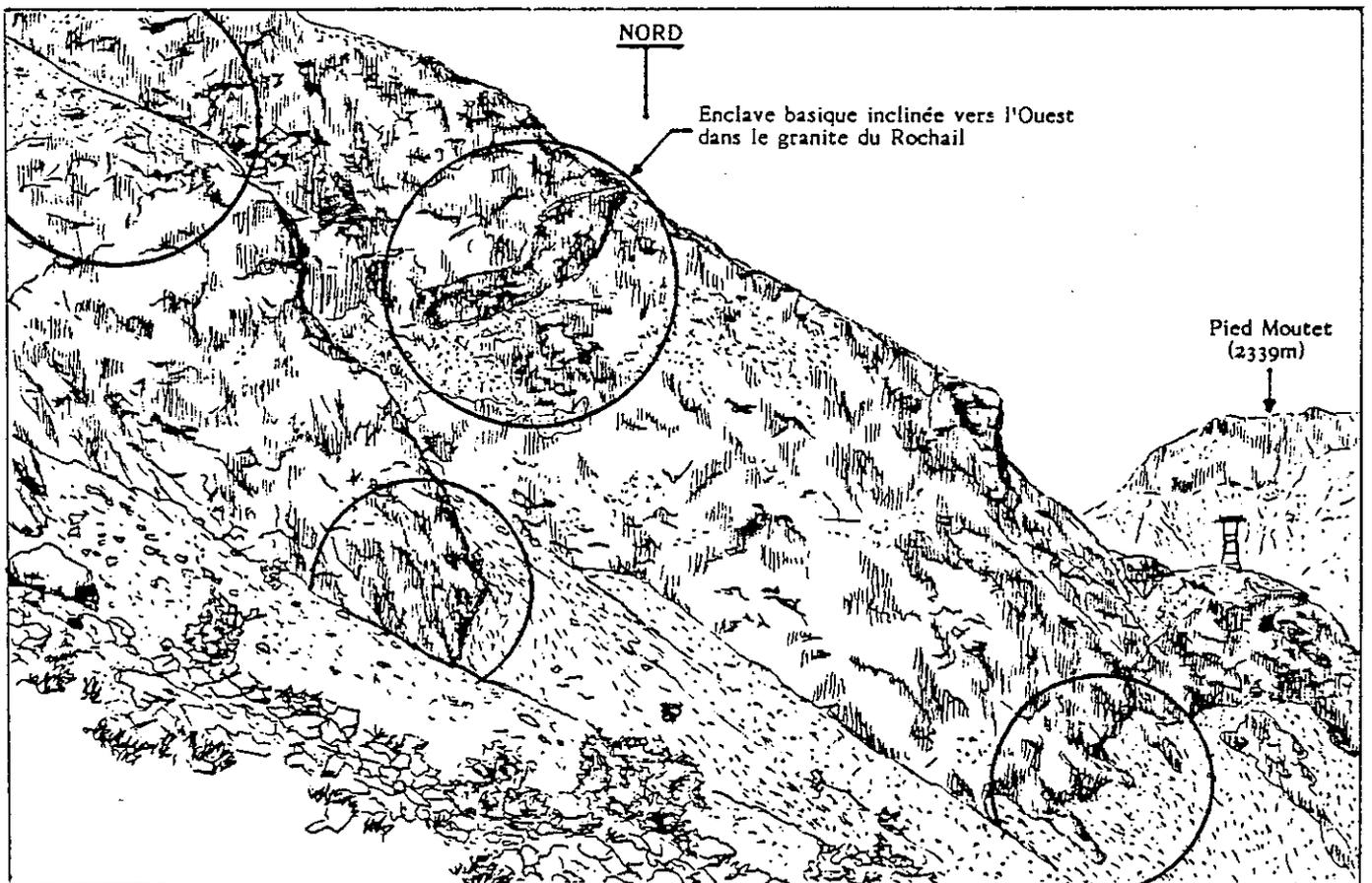


Figure n° 10 : Panorama vers le Nord depuis les chalets du Lauvitel (Rochail). Localisation de quelques enclaves basiques : cercles.



1.2.2.2. Le granite

Le granite du Rochâil est recoupé par des filons aplitiques (N120 à 130) de 10 à 20 cm d'épaisseur et rarement anastomosés, eux-mêmes interrompus par le contact net acide-basique.

L'un de ces filons subit un décrochement dextre de quelques cm avec crochons de faille. Ce petit couloir de déformation orienté N105 n'a pas de prolongation apparente dans le matériel basique (Fig. 9).

Quelques rares enclaves fusiformes (10 à 20 cm de long) de matériel basique semblable à celui prélevé en bordure du gisement, mais dont la biotite est chloritisée, sont étirées dans la schistosité fruste du granite (N110-N120) à quelques mètres tout au plus du contact acide-basique.

En rive droite de la cascade, un filon métrique de granite hololeucocrate recoupe horizontalement le gisement de roche basique et se poursuit dans le granite encaissant avec des épontes nettes. Il possède un pendage de 40° à 50° vers le Sud. Le filon est ultérieurement découpé par les différents accidents (verticaux N120, subhorizontaux, méridiens) affectant le site de la cascade du Lauvitel. La position relative actuelle des tronçons confirme les déplacements modérés subis par les divers compartiments. Quelques enclaves fusiformes (10-20 cm) mésocrates s'étirent selon l'axe du filon.

1.2.3. Le matériel basique

Le matériel basique de la Cascade du Lauvitel est subdivisé en deux facies bien individualisés et séparés par un contact net.

1.2.3.1. La monzosyénite porphyroïde

Ce facies riche en feldspaths alcalins automorphes occupe la périphérie du gisement sur une épaisseur de l'ordre de 2 à 5 mètres. Sa texture est grenue porphyroïde avec une orientation générale soulignée par les phénocristaux de feldspath selon une direction N105 à 110.

Quelques enclaves fusiformes (20 à 30 cm de long) de matériel syénitique mélanocrate (facies syénitique du coeur du gisement) sont étirées dans cette foliation.

Les apophyses de granite précédemment décrites (page 34) affleurent au milieu de la monzosyénite porphyroïde. A l'approche du contact, la foliation diverge pour lui devenir subparallèle entraînant les phénocristaux de feldspath et les rares enclaves mélanocrates fusiformes (Fig. 9).

Cette foliation s'interrompt brusquement au contact entre les deux facies basiques révélant un contact anormal (tectonique).

Figure n° 11 : Localisation de quelques affleurements de syénite du Lauvitel sur le flanc oriental du Massif du Rochail.

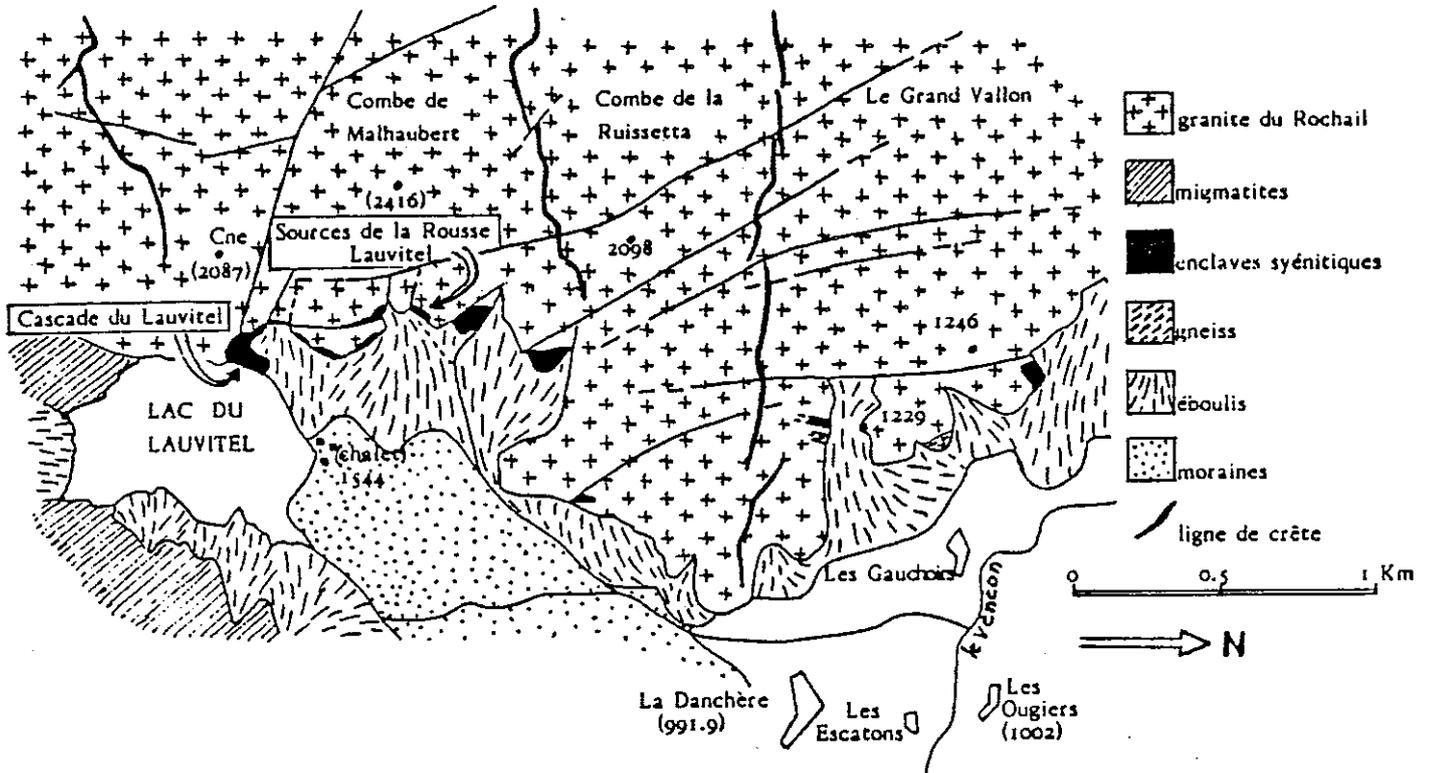
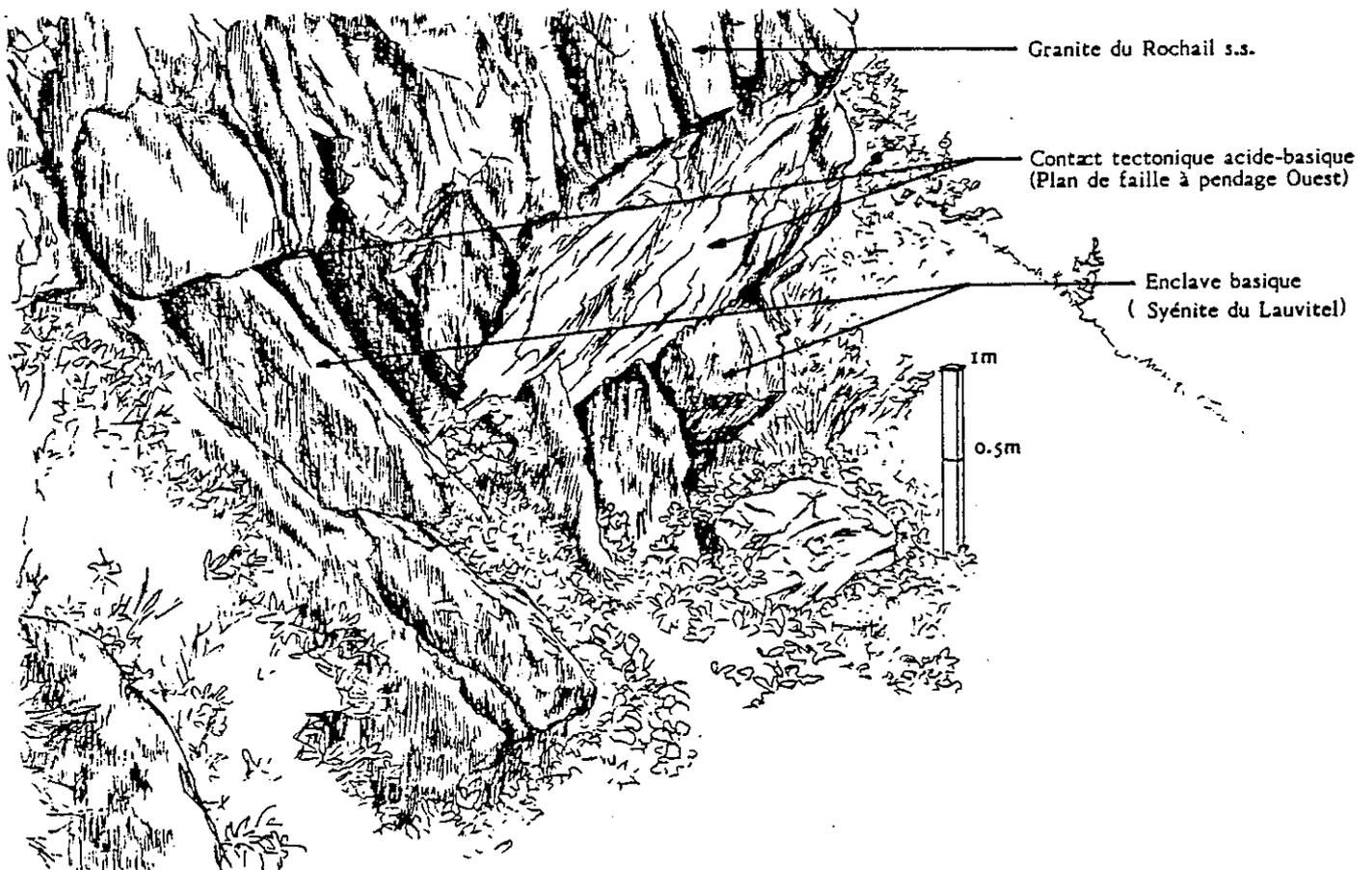


Figure n° 12 : Contact tectonique acide-basique. Pied de falaise en rive occidentale du Lauvitel.



1.2.3.2. La syénite

Ce facies constitue la partie centrale du gisement basique. Il ne possède pas d'enclave. La schistosité s'amortit dans ce facies très biotitique. Il peut être subdivisé en trois zones à partir de critères macroscopiques entre lesquels les limites sont floues :

- la syénite est grenue et homogène sur environ 1m à proximité du contact. En s'éloignant encore un peu plus du contact, les plages de feldspath alcalin très poéclitiques (biotite, amphibole) croissent rapidement rendant peu à peu ce facies hétérogène.

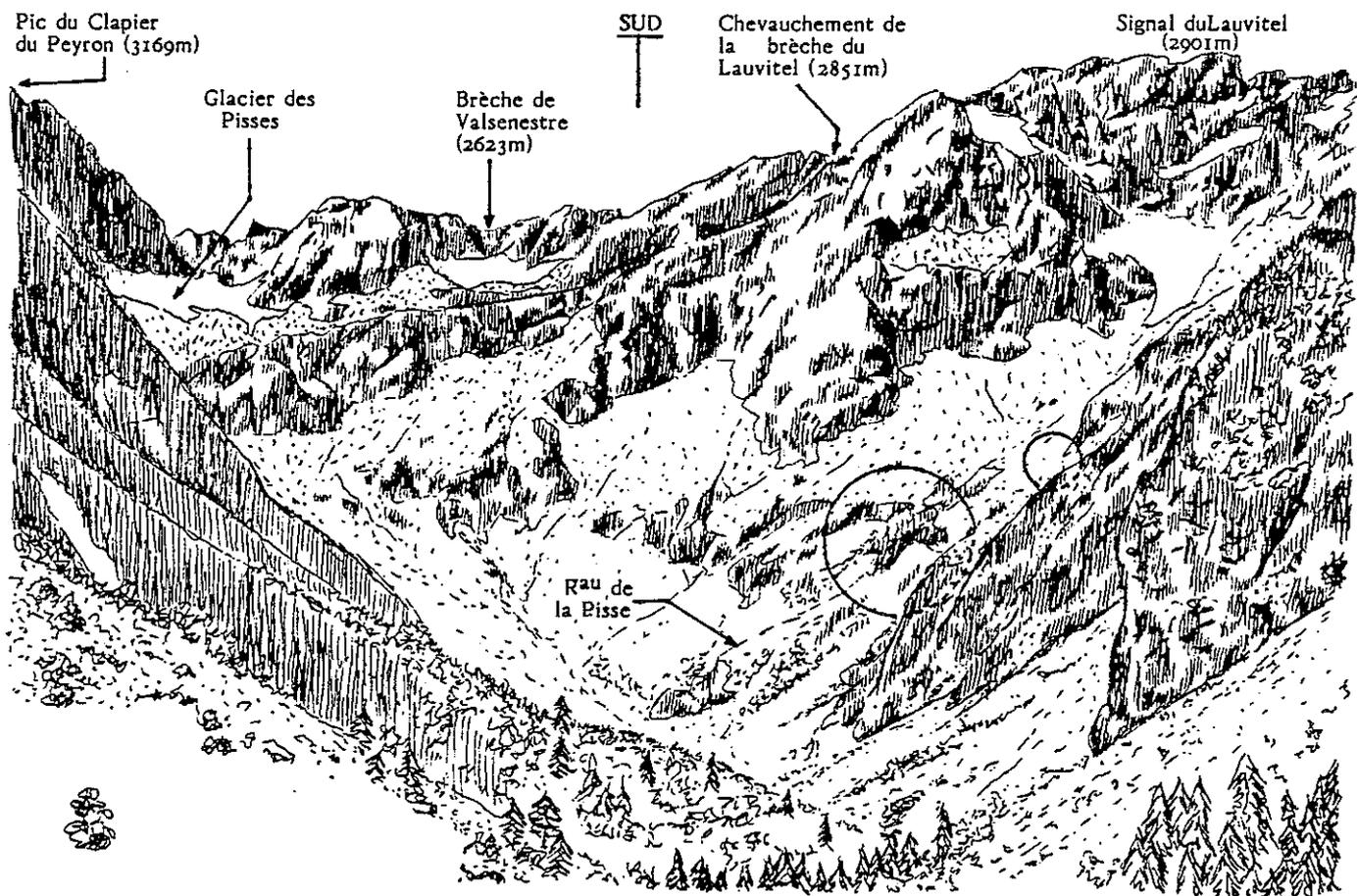
- les nombreuses blastèses de feldspath alcalin rendent le facies tout à fait hétérogène. En coupe, les feldspaths alcalins souvent monocristallins forment des amandes décimétriques allongées dans un plan proche de l'horizontale. Ces amandes sont séparées par d'étroites bandes où se concentrent la plupart des minéraux ferromagnésiens.

- localement la syénite redevient plus homogène mais avec un grain plus grossier.

1.2.3.3. Le contact monzosyénite-syénite

Ce contact est progressif mais très rapide (3-5 cm) avec des sinuosités reflétant parfois une légère interpénétration. La schistosité de la monzosyénite porphyroïde s'atténue au niveau de ce contact.

Figure n° 13 : Panorama vers le Sud depuis la berge orientale du Lauvitel (Rochail). Localisation de l'enclave de Bellecote : cercles.



2. Le gisement de Bellecote

Carte la Mure n° 4 au 1/20000°
X = 893.1 Y = 300.7 Z = 2000 m coordonnées Lambert III

Généralités (Fig. 13)

Ce gisement est situé à une altitude voisine de 2000 m dans la Combe de Bellecote au pied du Signal du Lauvitel, à environ trois heures de marche du hameau de la Danchère. Après s'être rendu aux Cabanes du Lauvitel et avoir contourné le lac par sa rive orientale, on remonte vers le Sud le ruisseau de la Pisse.

Le gisement de roche basique affleure en grande partie dans le lit du ruisseau du Pis Salé au niveau de la rupture de pente (Fig. 13).

Le site considéré s'inscrit dans un rectangle de 100 x 150 m. Le dénivelé d'Ouest en Est est de l'ordre de la centaine de mètres.

On peut noter à titre indicatif, la présence d'un autre gisement de roche basique au pied des falaises barrant le paysage 300 mètres environ plus au Nord, mais aucune étude n'y a été entreprise.

2.1 Environnement structural (Fig. 15 et 16)

Tout comme à la Cascade du Lauvitel, le gisement de Bellecote est affecté par des accidents verticaux N120 et subhorizontaux se prolongeant dans l'encaissant granitique.

2.1.1. Les accidents verticaux N120

Le site étudié à Bellecote est compartimenté en trois ensembles par les accidents verticaux orientés N90 à N120 (Fig. 15). Les déplacements relatifs de ces compartiments sont de faible ampleur et sans doute inférieurs à 20 m.

Au Nord et au Sud le gisement est interrompu par la juxtaposition de barres granitiques par le biais de ces mêmes accidents N120 mais pour lesquels il faut considérer des rejeux nettement plus importants.

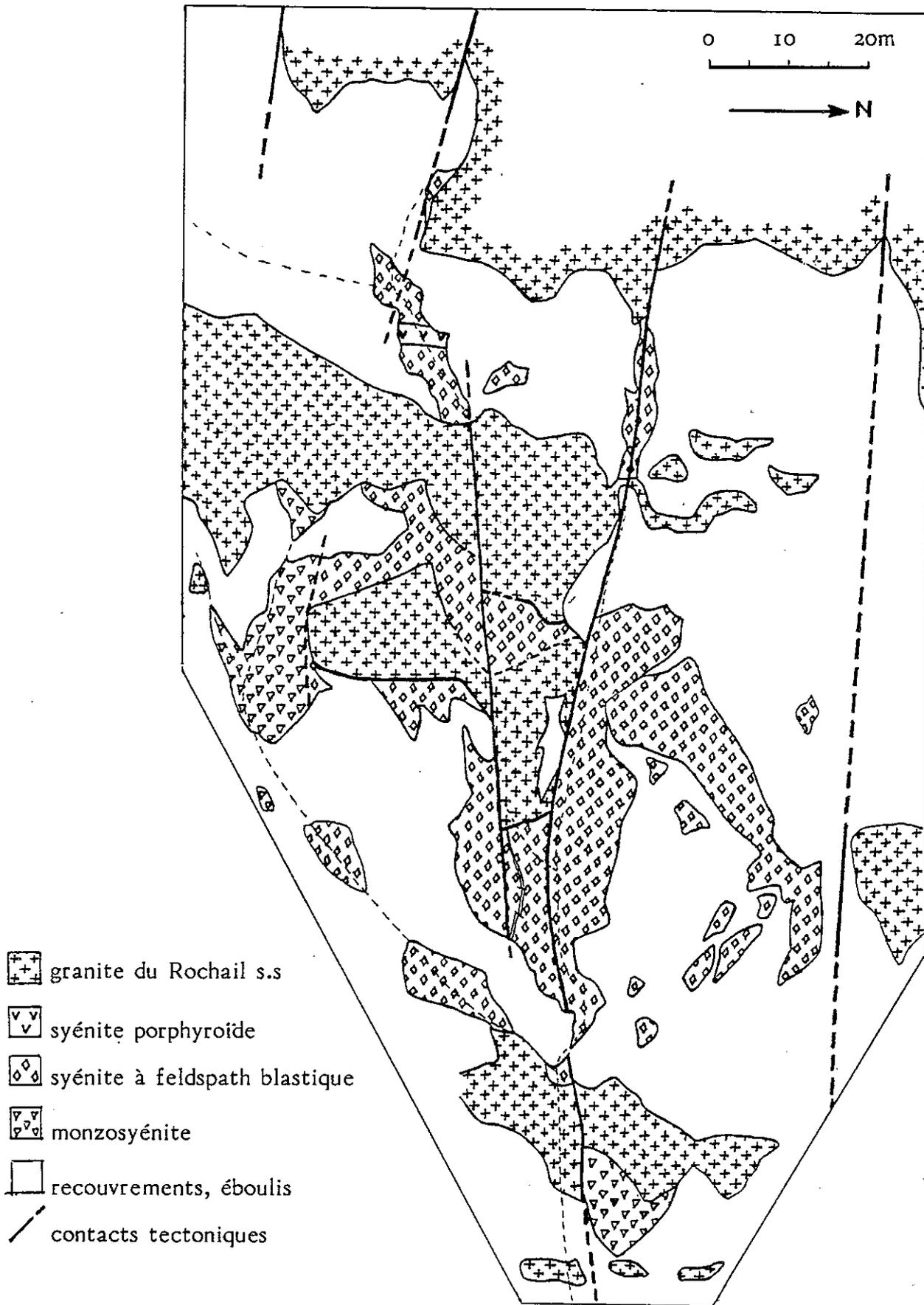
2.1.2. Les accidents subhorizontaux

Morphologiquement, le site étudié à Bellecote est un talus herbeux interrompu d'Est en Ouest par trois petites barres granitiques. Une discontinuité structurale limite la base de chacune de ces barres malgré l'apparente accordance entre les matériels acide et basique.

Figure n° 14
Cartographie des affleurements de syénite à Bellecote (Rochail)

Carte la Mure n°4 1/25000°

X = 893.1 Y = 300.7 Z = 2000m Lambert III



La schistosité qui se développe dans la roche basique à proximité de ces contacts anormaux est orientée N5 à 20 à pendage 35 à 40° Est.

Le contact acide basique au dessus de ces mêmes barres granitiques, bien que souvent masqué par les recouvrements, ne semble pas ou très peu repris par des déformations. Ce contact sommital est très sinueux et accuse en de nombreux endroits un fort pendage général vers l'Ouest.

2.2 Relations entre les formations en présence (Fig.14)

2.2.1. Généralités

Le gisement de Bellecote présente un intérêt essentiellement pétrographique des faciès basiques.

Le granite encaissant est très semblable à celui de la cascade du Lauvitel mais intensément diaclasé. Son étude n'apporte aucune précision complémentaire aux rapports acide basique visibles au Lauvitel.

2.2.2. Le matériel basique

Deux faciès basiques déjà observés à la cascade du Lauvitel (monzosyénitique porphyroïde et syénitique) couvrent la quasi-totalité des affleurements de Bellecote.

2.2.2.1- La monzosyénite porphyroïde

Ce faciès riche en phénocristaux de feldspath alcalin apparaît sur à peine 10% des affleurements de matériel basique au Sud et à l'Est du gisement. Il est très fréquemment cataclaté.

Son contact avec le matériel granitique encaissant est sinueux et fréquemment repris par des déformations. Avec le faciès syénitique, les rapports sont exclusivement de nature tectonique.

2.2.2.2- La syénite

Le faciès syénitique est très largement représenté à Bellecote : 90% des affleurements de matériel basique. D'après l'aspect macroscopique de cette syénite, ces affleurements peuvent être subdivisés en trois zones aux limites floues comparables à celles observées pour la syénite de la Cascade du Lauvitel.

Figure n° 15 : Schéma structural du secteur étudié à Bellecote (Rochail)

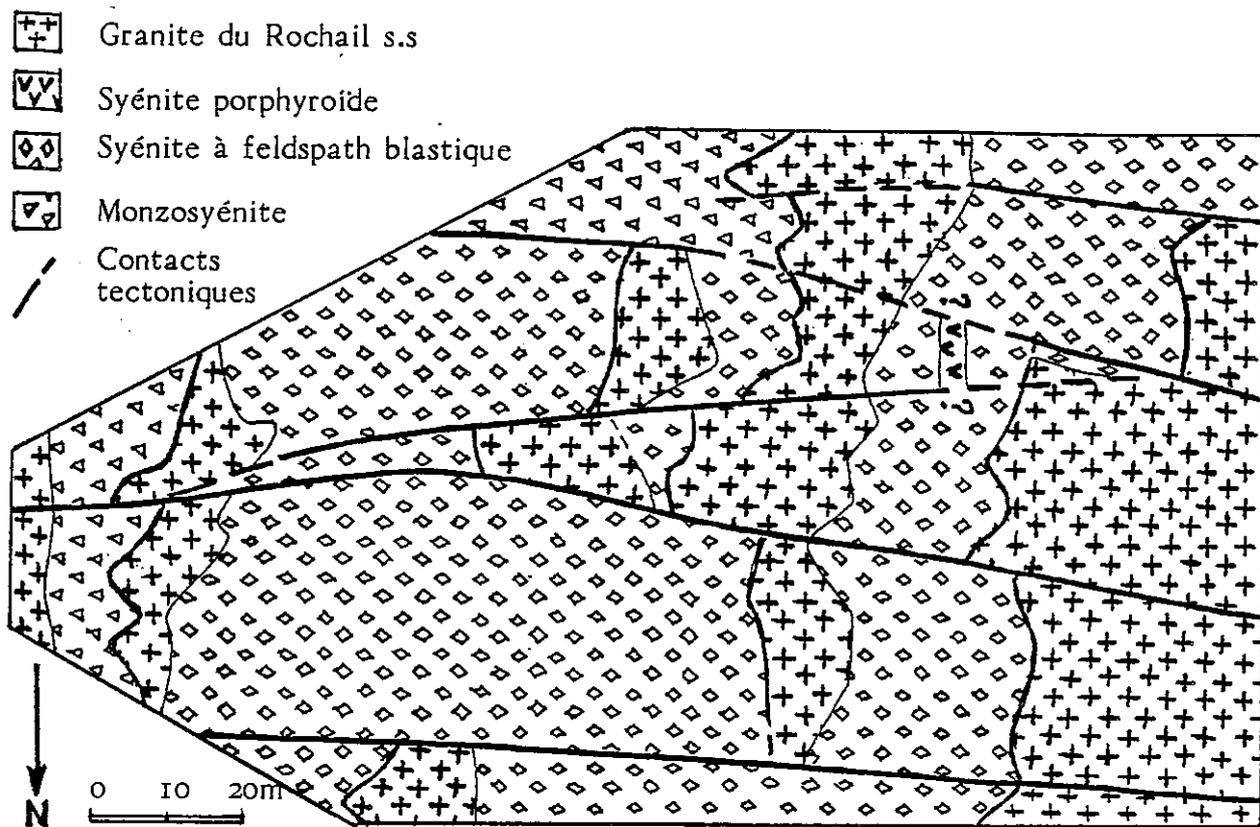
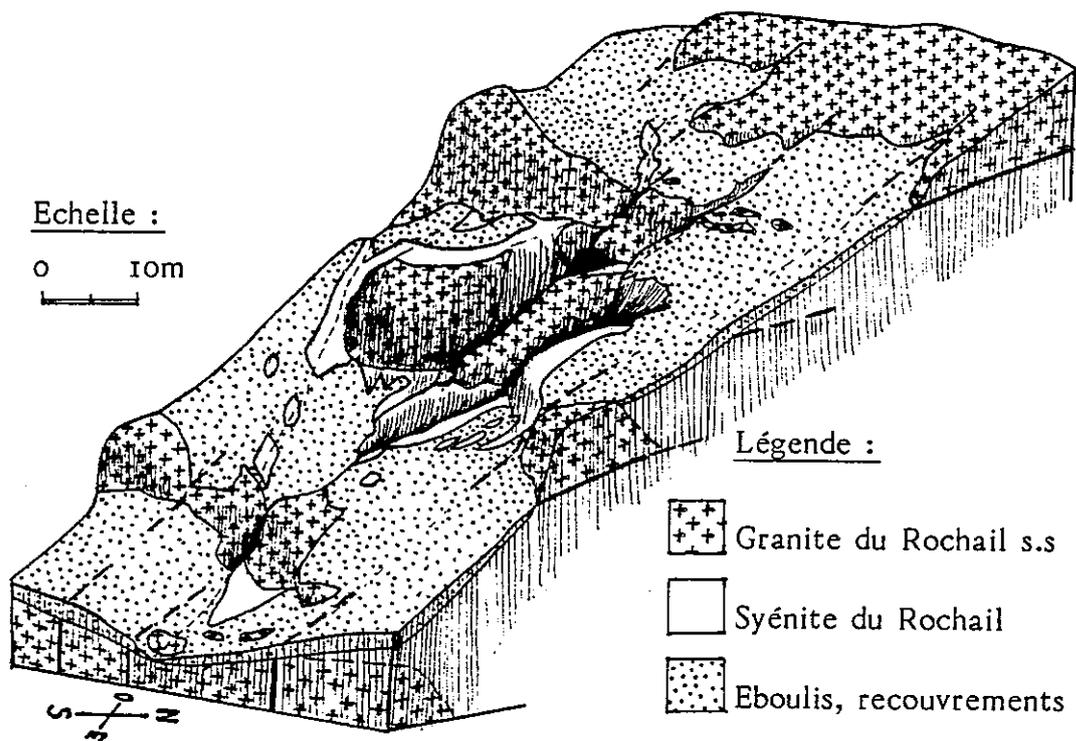


Figure n° 16 : Bloc diagramme de l'enclave basique de Bellecote (Massif du Rochail)

X = 893.1 Y = 300.7 Z = 2000 m



- la syénite est grenue et homogène au contact du granite (et ce jusqu'à 1m) en particulier dans la partie basse du gisement. Ces contacts sont fréquemment masqués par les recouvrements. Ce matériel peut être considéré comme un faciès syénitique de bordure.

- la blastèse du feldspath alcalin rend progressivement ce faciès de bordure de plus en plus hétérogène, en s'éloignant du contact avec le granite.

Les amandes décimétriques, constituées d'un ou deux feldspaths très poécilitiques (biotite, amphibole) et séparées par d'étroits septas où se sont concentrés les minéraux sombres, sont étirées sensiblement dans un plan proche de l'horizontale.

Ce matériel sera appelé faciès syénitique à feldspath blastique.

Très localement (quelques m²), ce faciès est lardé par un réseau de septas feldspathiques anastomosés en bordure desquels il y a inter pénétration minéralogique avec le matériel basique.

Ces septas sont d'épaisseur centimétrique.

La structure en amande du faciès syénitique à feldspath blastique préexistante est conservée.

- la syénite porphyroïde

Ce faciès affleure sur quelques m² au sein du faciès syénitique. Ses limites sont floues et passent sans discontinuité au faciès syénitique à feldspath blastique, l'entourant de toutes parts.

La particularité essentielle de ce faciès par rapport au faciès syénitique est d'être homogène et de posséder des cristaux fibroradiés subrectangulaires ou ovoïdes vert pâle de 2 à 3 cm de diamètre, disséminés dans la mésostase grenue. La plupart de ces cristaux sont entourés d'une couronne biotitique de quelques millimètres d'épaisseur (Fig. 65 page 167). On peut noter également la présence de quelques agrégats centimétriques de biotites plus particuliers à ce faciès.

Figure n° 17 : Panorama vers le Sud depuis Villard Notre-Dame (Rochail).
Localisation des enclaves basiques des Sources.

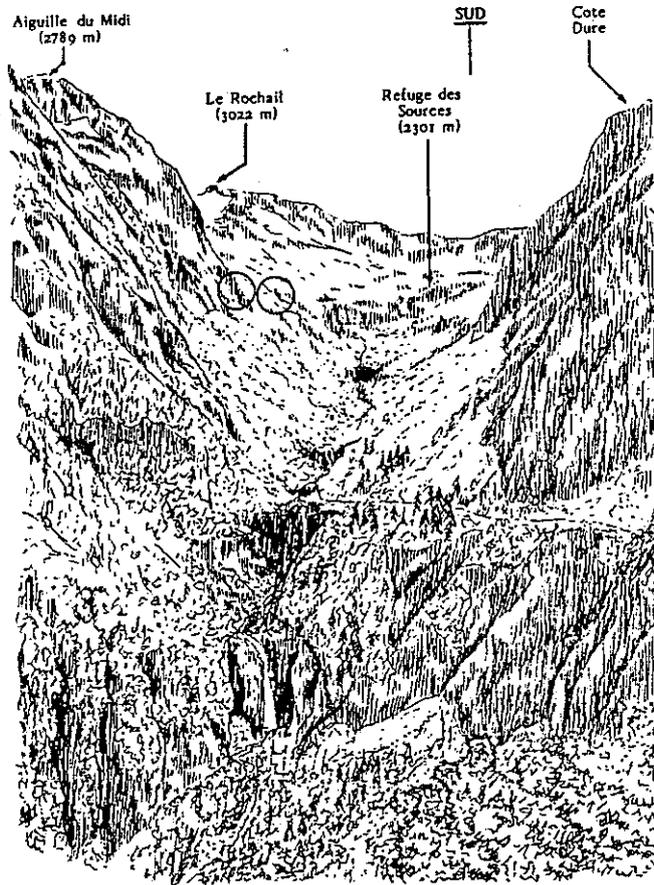


Figure n° 18 : Panorama vers l'Est depuis le chalet des Sources. (Rochail).
Localisation de quelques enclaves basiques : cercles.

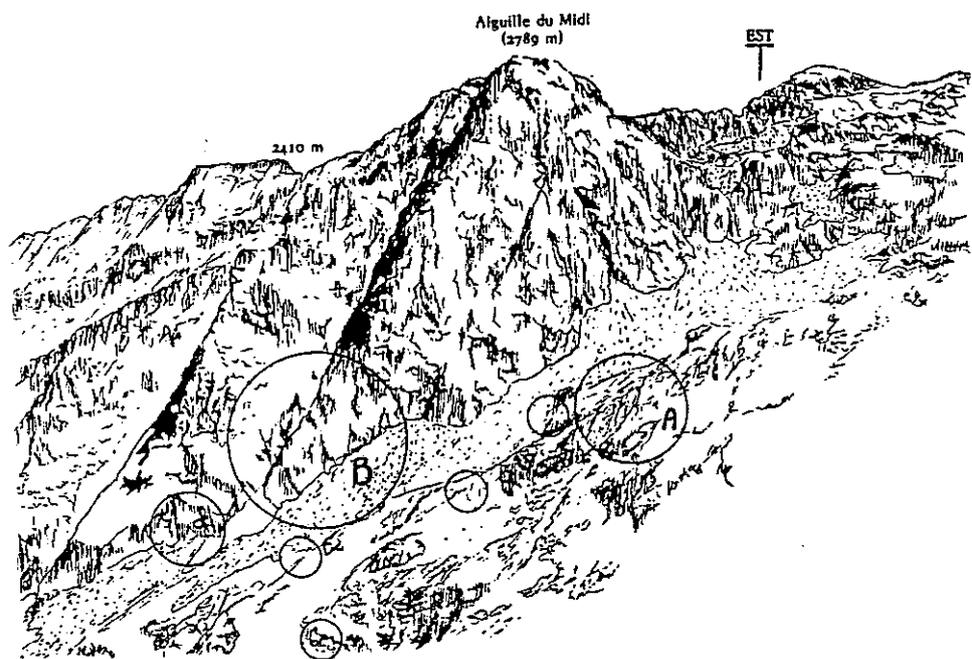


Figure n° 19 : Cartographie des affleurements de syénite près du refuge des Sources (Rochail) - Carte La Mure n°4 1/20000°

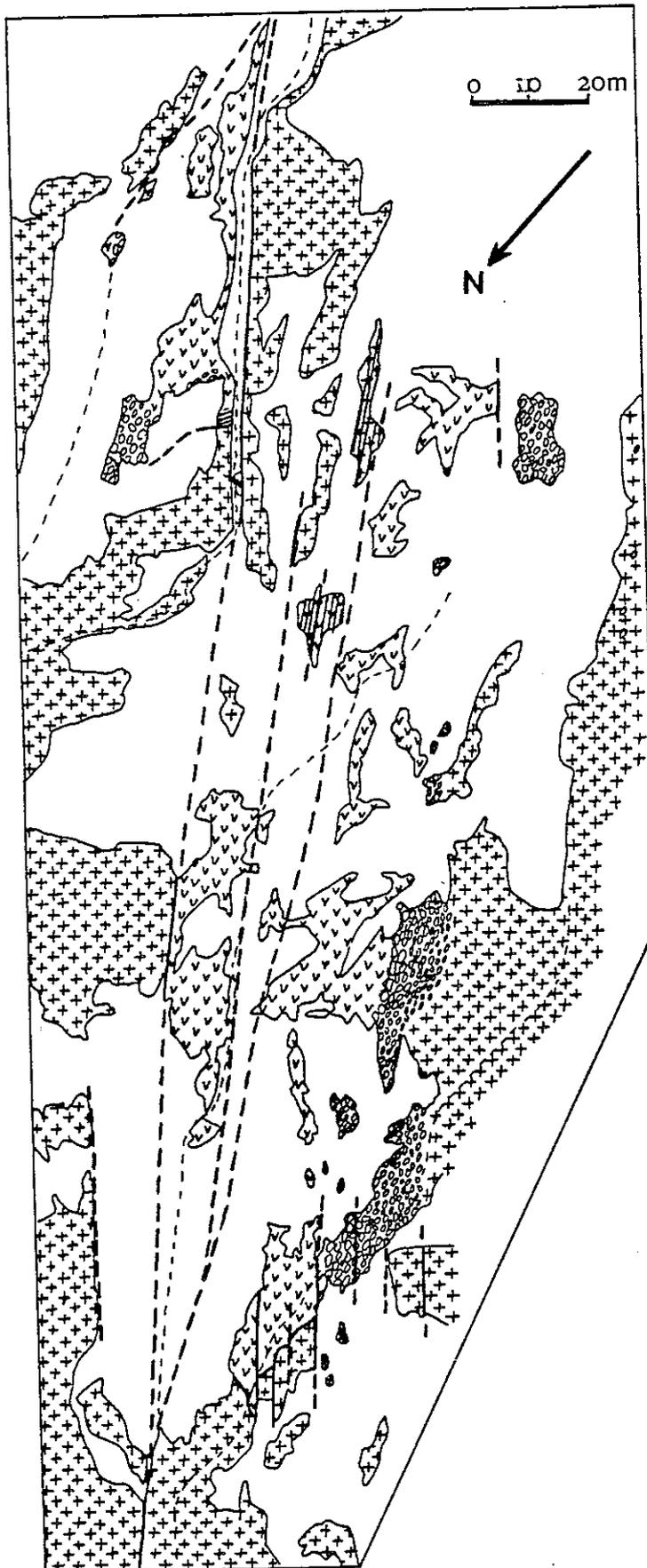
(A)

X = 891.6

Y = 305.8

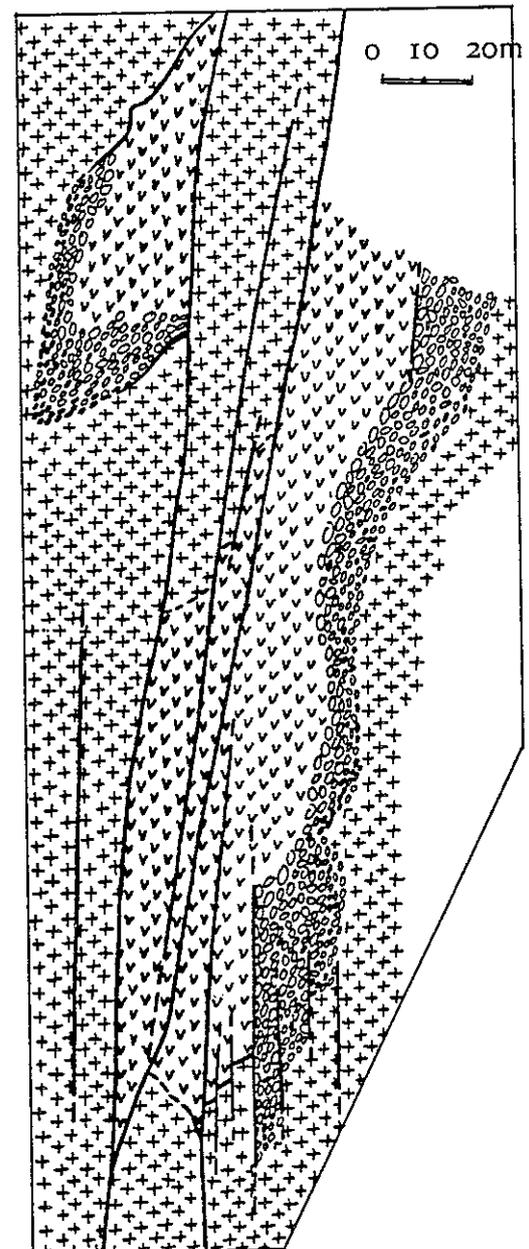
Z = 2000 m

Lambert III



-  granite du Clapier
-  monzosyénite des Sources
-  essaim d'enclave
-  recouvrements, éboulis
-  contact tectonique

Schéma structural



- la schistosité du granite

La schistosité plus ou moins fruste du granite du Clapier dans le secteur des Sources offre une orientation moyenne très voisine de N60-40W. Celle-ci peut être visualisée par l'orientation que prennent les phénocristaux de feldspath alcalin dans le granite, et de façon moindre, par celle des biotites dans le coeur massif du gisement basique (ceci apparaît plus nettement sous le microscope avec des échantillons orientés).

D'autre part, à l'échelle métrique, cette orientation semble conditionner plus ou moins l'arrangement des enclaves de l'essaim. (Fig. 64 page 167).

3.3 Relations entre les formations en présence (Fig.19 et 20)

Les rapports acide basique des affleurements du refuge des Sources sont caractérisés par relations géométriques plus simples qu'à Bellecote ou au Lauvitel.^{des}

3.3.1 - Le granite encaissant

C'est un granite porphyroïde à phénocristaux de feldspath alcalin aussi appelé facies Clapier du granite du Rochail S.L. Il possède une schistosité fruste orientée N60-40W.

Les enclaves de matériel syénitique sont rares, souvent informes et de petites tailles (10-20 cm de long).

Ce granite est recoupé par quelques filons aplitiques de 10 à 50 cm d'épaisseur orientés N60-80 S.E. L'un de ceux-ci recoupe localement une enclave isolée de nature syénitique.

Un seul filon aplo pegmatitique d'épaisseur métrique recoupe les affleurements basiques du pied de l'Aiguille du Midi (B) et se prolonge dans l'encaissant granitique (Fig.20).

3.3.2 - Le matériel basique

Ce matériel basique n'est représenté que par un facies monzosyénitique particulier au refuge des Sources et riche en feldspath. Les contacts avec le granite sont toujours nets.

3.3.2.1. Arrangement des enclaves dans l'essaim (Fig.20)

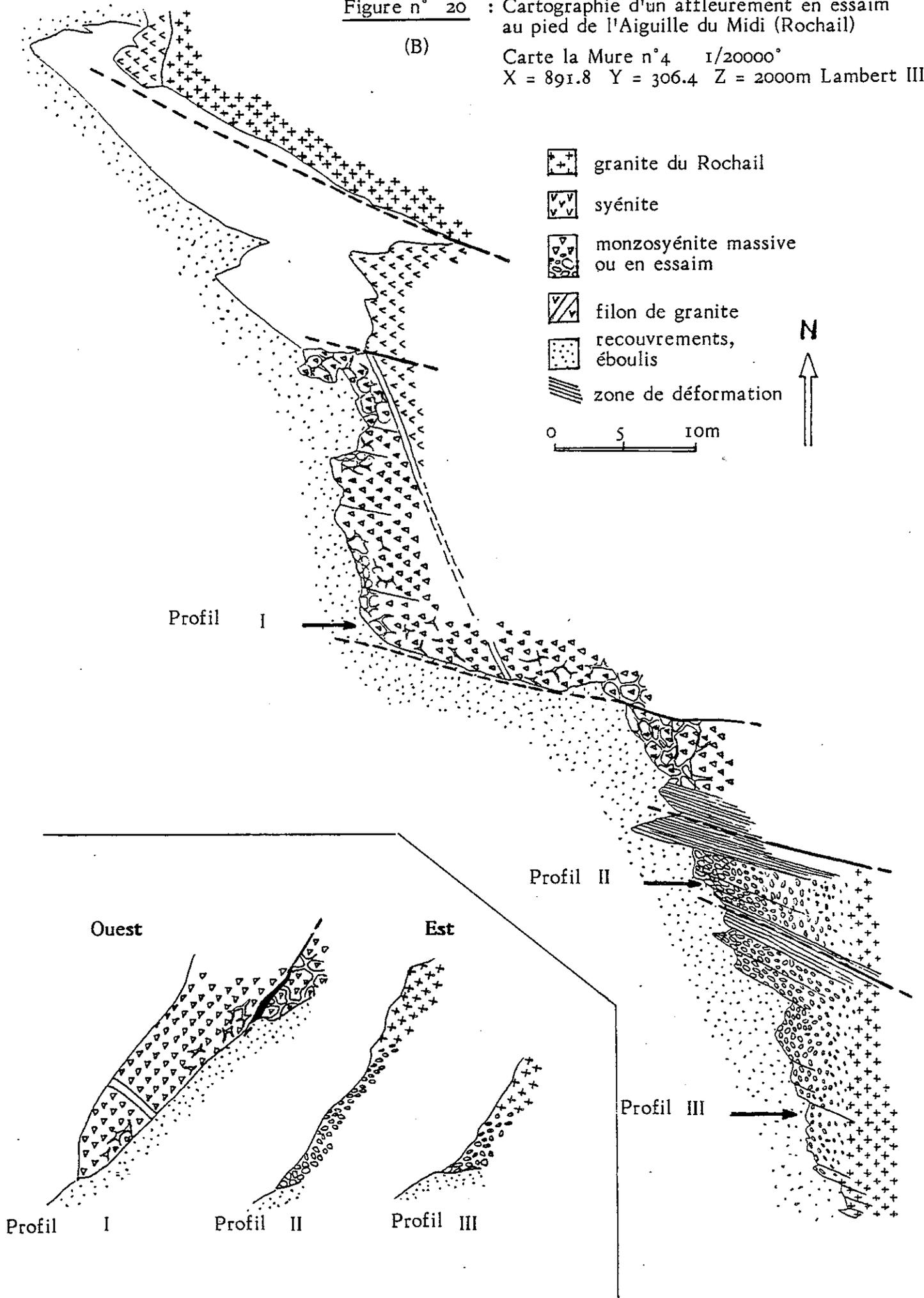
Le second gisement étudié (B) affleure au pied de l'Aiguille du Midi et se présente comme une coupe transversale d'un gisement en essaim. Le relevé cartographique détaillé fait apparaître certains traits communs à tous ces types de gisements au refuge des Sources :

Figure n° 20 : Cartographie d'un affleurement en essaim au pied de l'Aiguille du Midi (Rochail)

(B)

Carte la Mure n°4 1/20000°

X = 891.8 Y = 306.4 Z = 2000m Lambert III



L'enveloppe des gisements en essaim peut être définie avec précision, compte tenu de la quasi disparition des enclaves dans le granite au-dessous d'un rapport volumétrique proche de 40 en matériel basique. Toutefois, ceci n'exclut pas l'existence d'enclaves éparses dans l'encaissant granitique à proximité des gisements, et plus particulièrement dans leurs prolongements axiaux.

Ainsi, les gisements basiques des Sources s'organisent-ils en trois zones concentriques :

- le coeur massif du gisement. Son pourtour est fragmenté en gros blocs métriques et anguleux entre lesquels s'insinuent les digitations granitiques.
- l'essaim s.s constitué d'enclaves de formes et tailles variables, presque jointives, enserrant le coeur sur une épaisseur de 3 à 10 m. La taille moyenne des enclaves décroît du coeur vers la bordure externe de l'essaim (1 à 0.1 m). Corrélativement, leurs profils informes et anguleux laissent place peu à peu aux contours ovoïdes et réguliers à la périphérie du gisement. Les septas granitiques, digitations du matériel encaissant, s'étiolent progressivement et disparaissent en direction du coeur du gisement.
- la zone à enclaves éparses dans le granite encaissant entoure le gisement sur 10 à 20 m d'épaisseur.

3.4 Conclusion

Les gisements de matériel basique en essaim sont typiques du refuge des Sources.

La morphologie d'ensemble de ces gisements suggère une fragmentation progressive de masses basiques sur leur pourtour en dehors de toute déformation cassante.

Figure n° 21 : Localisation des affleurements basiques du Péou de St Maurice. (agrandissement de la carte topographique la Mure n°8, 1/20000°.)

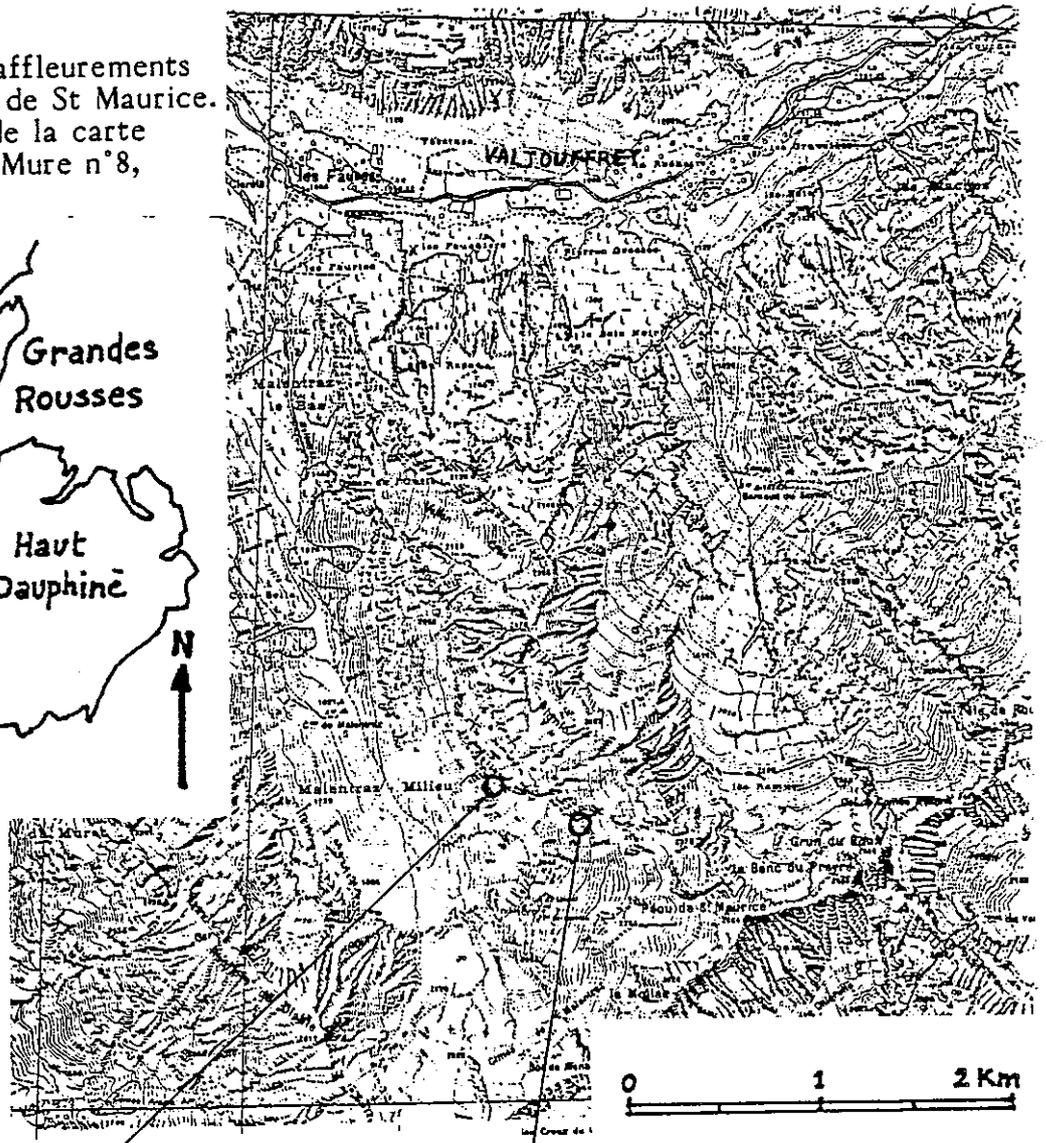
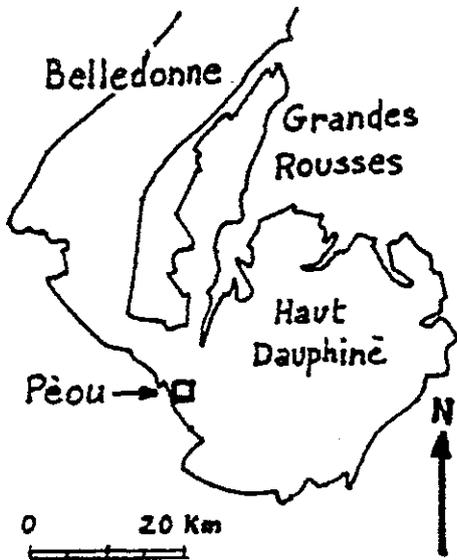
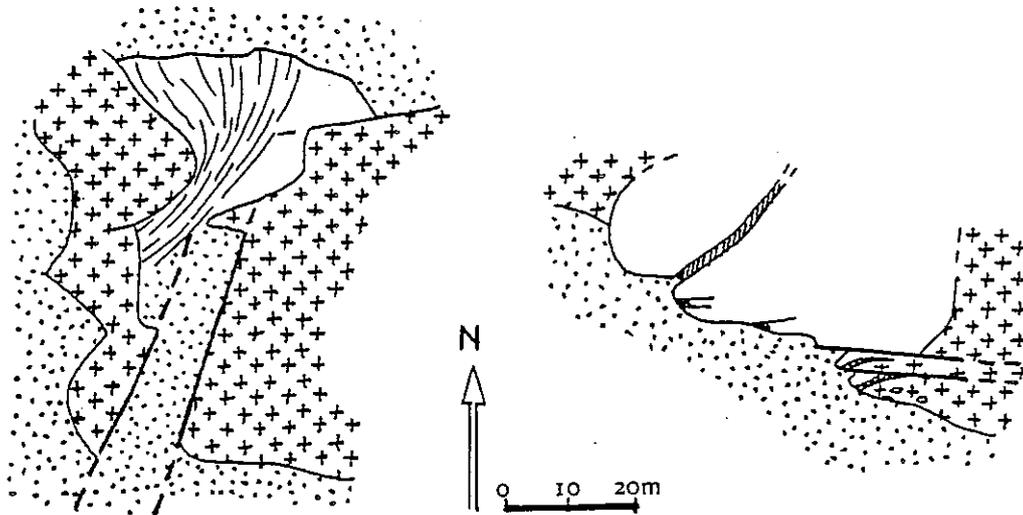


Figure n° 22: Affleurement des Ballets (Péou) Carte La Mure n°8 1/20000° X = 894.2 Y = 288.2 Z = 1950 m Lambert III

Figure n° 23 : Affleurement de la Combe du Lauvet (Péou) X = 834.6 Y = 287.9 Z = 2100 m Lambert III



+ granite du Péou
 enclave basique
 / lamprophyre
 . éboulis

III-2. Le granite du Péou de Saint Maurice (Pelvoux)

Carte la Mure n°8 1/20 000°

A/Contexte géologique

Le massif granitique du Péou de Saint Maurice affleure (6.5 km²) sur la bordure occidentale du Haut Dauphiné, 10 km au Sud du massif du Rochail. Ce granite intrudant les séries migmatitiques du Pelvoux culmine au Péou à 2864 m. Il est limité au Sud par la vallée du Valgaudemar et au Nord par celle de Valjouffrey.

Le hameau des Faures (1054 m) en Valjouffrey est le point de départ le plus pratique des excursions vers le granite du Péou de Saint Maurice. Le chemin forestier suit l'axe de la combe de Malentraz et remonte jusqu'à la cabane de Malentraz (1621 m).

De nombreux accidents subméridiens sont à l'origine de la topographie en escalier du flanc Est de la combe de Malentraz.

Le granite du Péou de Saint Maurice offre deux facies leucocrates pétrographiquement distincts mais chimiquement très semblables. L'un est à grain moyen et riche en biotite (+/- chlorite), l'autre plus fin et plus riche en muscovite.

La composition chimique du granite du Péou, semblable à celle du granite du Rochail est celle d'un granite alumino-sodique à tendance sub-alkaline.

B/ Quelques affleurements basiques du Péou (Fig. 21,22, 23)

Un certain nombre d'affleurements de nature syénitique à dioritique ont été observés au sein de l'un et l'autre des facies des granites du Péou. Deux de ces affleurements ont été échantillonnés au lieu dit "les ballets" et au sommet de la combe du Lauvet en rive orientale de la combe de Malentraz. Les séries migmatitiques affleurent au contact du granite, 100 m en contrebas de ces gisements.

Figure n° 24 : Carte géologique du massif des Grandes Rousses (d'après Giorgi, 1979)

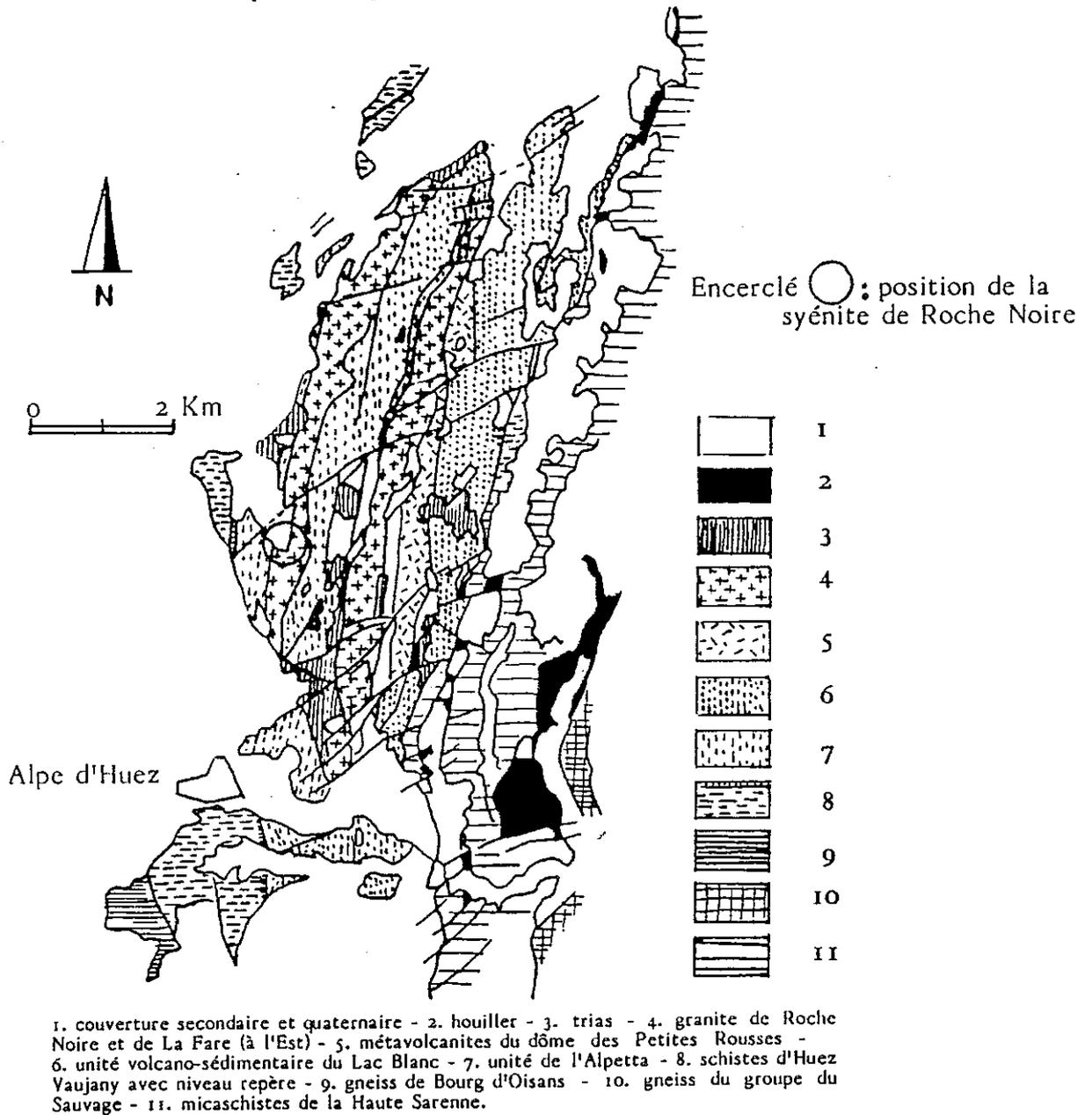
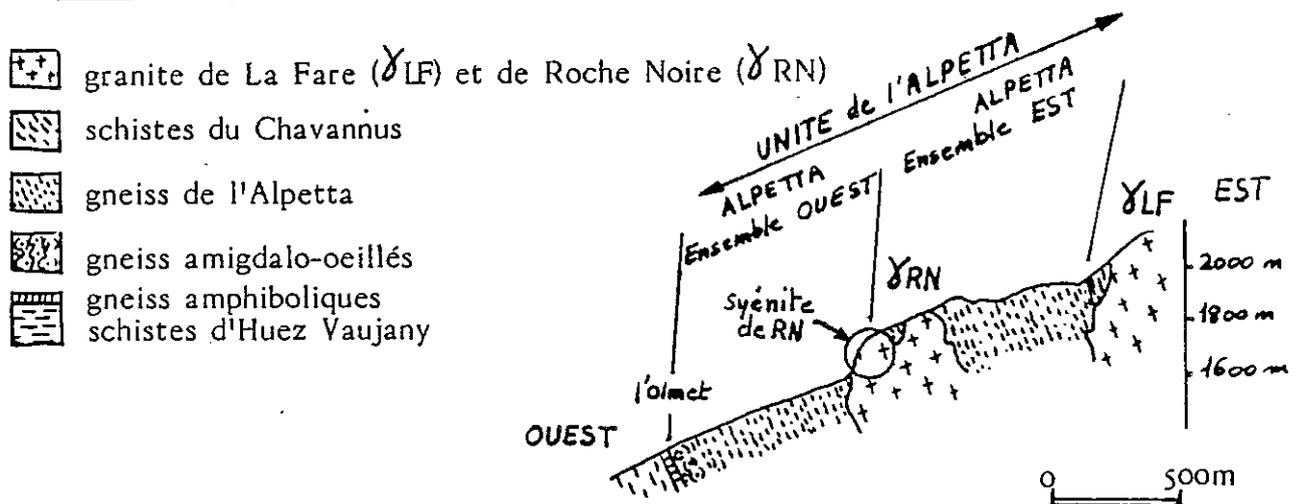


Figure n° 25 : Coupe interprétative du versant occidental du dôme des Petites Rousses



III -3. Le granite de Roche Noire (Grandes Rousses)

A/ Contexte géologique (Fig. 24 et 25).

Giorgi (1981) fait une description détaillée du versant occidental des Grandes Rousses et met en évidence une unité volcano-sédimentaire, s'organisant en une structure isoclinale déversée vers l'Ouest, d'axe subméridien décalé par des accidents N50 à N70.

Parmi les autres formations anciennement sédimentaires (schistes d'Huez Vaujany, du Chavannus) ou volcano-sédimentaires (unité du Lac Blanc), l'unité de l'Alpetta serait un ancien tuf à mégacristsaux de feldspath alcalin. Cette unité a été interprétée plus récemment (Bonnet, 1982) comme un ancien granite porphyroïde plus ou moins schistosé et déformé.

Le granite de Roche Noire (et de la Fare) est intrusif dans l'unité de l'Alpetta avant que l'ensemble ne soit ensuite replié en structure isoclinale. L'ensemble subit alors un métamorphisme épizonal.

Le granite de Roche Noire et les gneiss de l'Alpetta encaissants affleurent sous forme de fuseaux emboîtés sur la bordure occidentale des Grandes Rousses. Subméridiens à leur terminaison Sud, au niveau des gorges de la Sarenne, ils s'incurvent progressivement pour disparaître avec une direction voisine de N20 vers le Nord. Le granite de Roche Noire s'étire sur 10 km de long pour à peine 500 m d'épaisseur au sein des orthogneiss de l'Alpetta trois fois plus étendus.

D'après Giorgi (1981), le granite de Roche Noire est riche en feldspaths alcalins. Le granite de la Fare possède un caractère sub-volcanique marqué.

B/ Quelques affleurements basiques du Lac Noir (Fig. 26)

Carte de Vizille 1/50000°

X = 895.4 Y = 319.9 Z = 2000 m Lambert III

D'extension kilométrique, cet affleurement borde le Lac Noir au pied du dôme des Petites Rousses 2 km au Nord de l'Alpe d'Huez. Il est enclavé dans le granite de Roche Noire.

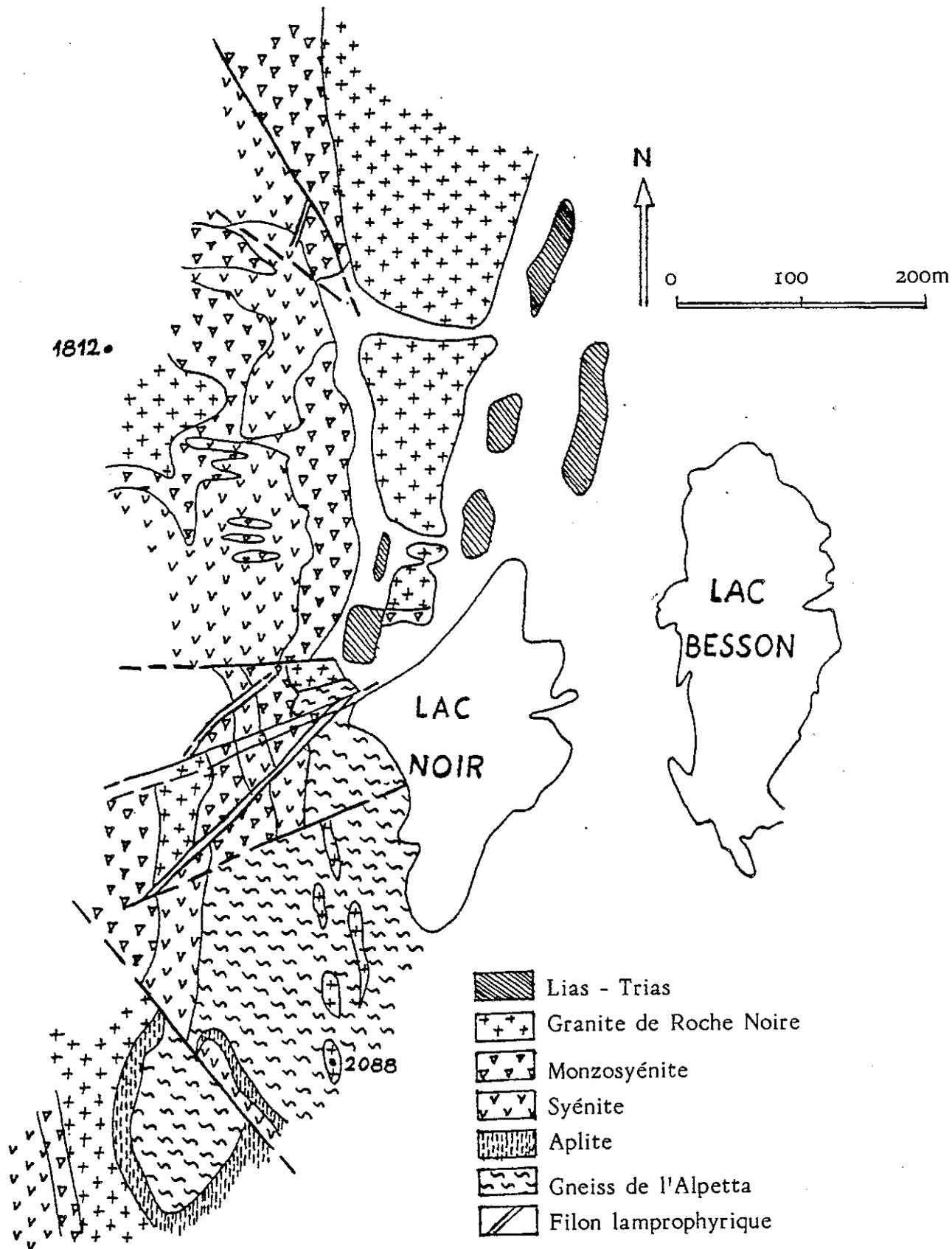
Figure n° 26

: Cartographie des affleurements de syénite de Roche Noire (Grandes Rousses)

Carte Vizille n° 1/25000°

X = 895.4 Y = 319.9

Z = 2000m Lambert III



Le coeur syénitique et très altéré des affleurements du Lac Noir s'entoure systématiquement d'une couronne plus monzosyénitique de 5 à 30 m d'épaisseur au plus. Le passage entre ces deux facies est très progressif.

Les contacts sinueux entre monzosyénite et encaissant (granite de Roche Noire, orthogneiss de l'Alpetta) est toujours net.

Les affleurements de matériels basiques sont tardivement recoupés par des filons lamprophyriques, puis cisillés par des accidents N50 à N70 et d'autres W-S.

QUATRIEME CHAPITRE

MODELE DE MISE EN PLACE DES MATERIELS ACIDE ET BASIQUE

IV - 1. Généralités

IV - 2. Les gisements

IV - 2.1. Le gisement en essaim

IV - 2.1.1. Morphologie et orientation des enclaves ovoïdes

IV - 2.1.2. Mécanismes de déformation du gisement

2.1.2.1. Les conditions de déformations

2.1.2.2. Viscosité et degré de cristallisation

2.1.2.3. Remarques

IV - 2.1.3. Conclusion

IV - 2.2. Le gisement en masse compacte

IV - 2.2.1. Morphologie du gisement

IV - 2.2.2. Conclusion sur la plasticité du matériel basique

IV - 3. Répartition des gisements dans le massif

IV - 3.1. Le secteur du refuge des Sources

IV - 3.2. Le secteur Lauvitel-Bellecote

IV - 3.3. Conclusion

IV - 4. Modèle de mise en place des matériels acide et basique du Rochail

MODELE DE MISE EN PLACE DES MATERIELS ACIDE ET BASIQUE

IV-1. Généralités

Le mode de mise en place du matériel basique (solide fragmenté ou non, injection visqueuse) au sein du granite conditionne très largement la morphologie d'ensemble de ses gisements (filon, enclave solide, structures liées à un comagmatisme).

Ainsi deux facteurs conjugués essentiels interviennent pour expliquer les relations spatiales entre matériels acide et basique : l'âge de la mise en place et le niveau de plasticité du matériel basique par rapport au granite encaissant.

L'étude sera conduite en deux temps :

- à l'échelle du gisement

élaborer un modèle de mise en place des matériels acide et basique applicable à tous les gisements et tenant compte de la morphologie d'ensemble de chacun d'eux.

- à l'échelle du massif

proposer un modèle général compatible avec les observations précédentes tout en expliquant la dispersion a priori aléatoire des gisements dans le massif.

IV-2. Les gisements

La morphologie d'ensemble, ou architecture, des gisements basiques du massif du Rochail se résume en deux types :

- en essaim : Refuge des Sources et source de la Rousse Lauvitel (Fig.II)
- en masse compacte : Lauvitel et Bellecote

IV-2.1 Le gisement en essaim.

L'architecture de ce type de gisement, déjà décrite dans le chapitre précédent, peut se résumer à quelques caractères particuliers :

- le coeur massif du gisement est disloqué sur son pourtour en blocs anguleux (1 m de diamètre) entre lesquels s'intrudent les digitations granitiques de l'encaissant.
- du coeur vers la bordure de l'essaim, les enclaves adoptent progressivement des formes plus régulières (ovoïdes) et des dimensions plus réduites (1 - 0.1 m).

Figure n° 27 :
Affleurement d'essaim d'enclaves
syénitiques du refuge des Sources
(Rochail)

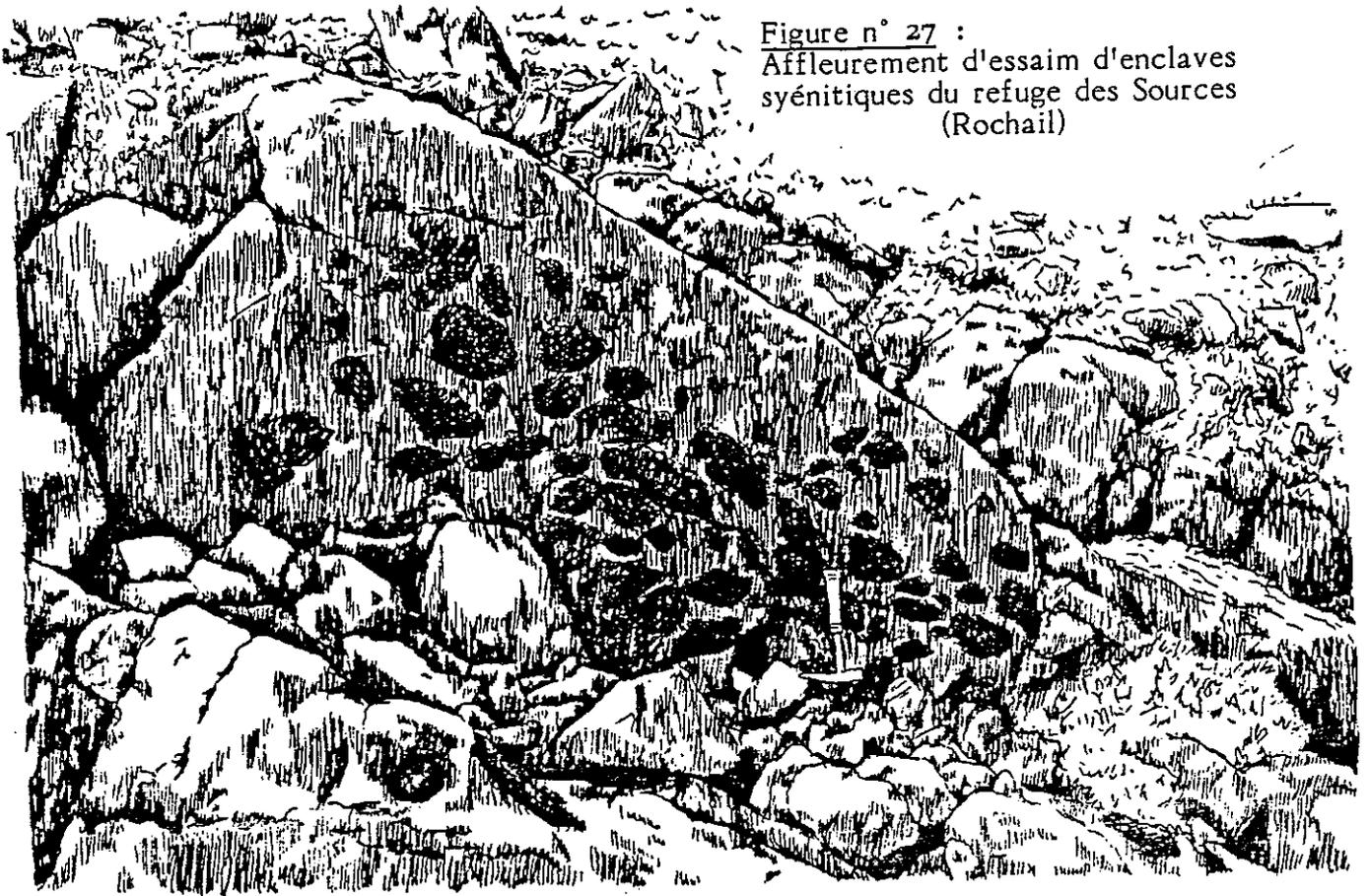
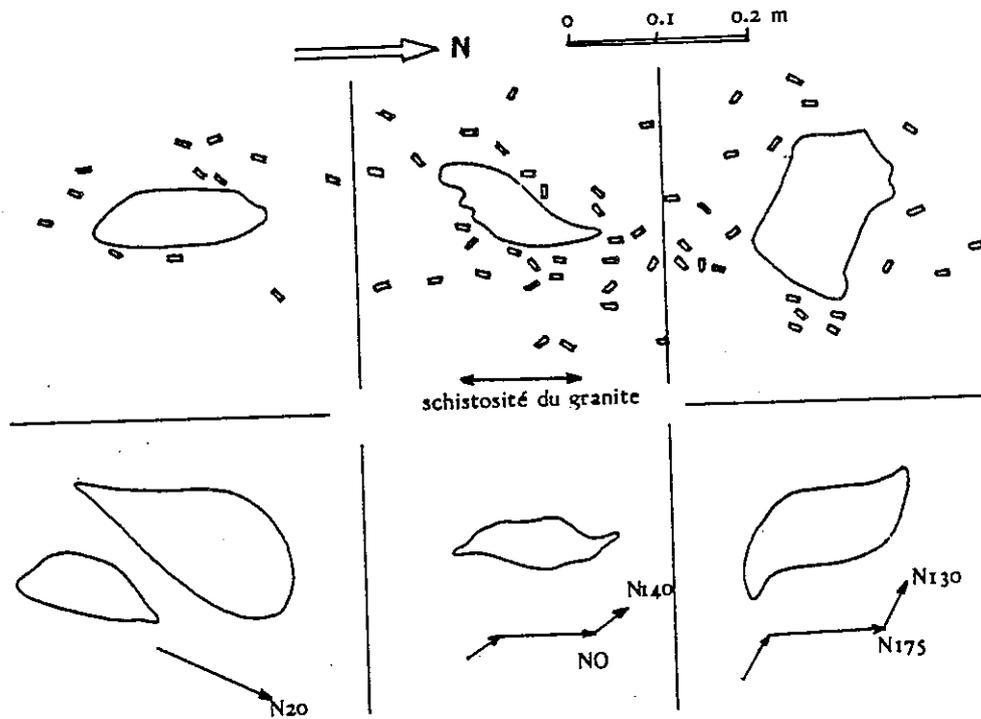


Figure n° 28 : Quelques exemples de formes d'enclaves monzosyénitiques éparses dans le granite du Clapier (Sources, Rochail) et disposition des phénocristaux de feldspath potassique.



- en deça du seuil de 40% du matériel basique dans la roche, les enclaves sont rares et éparées dans le granite encaissant.

Ainsi, au coeur du gisement, le comportement solide du matériel basique (fragmentation, blocs anguleux) contraste avec celui plus ou moins liquide du matériel acide qui l'intrude.

Cependant, l'évolution de la morphologie des enclaves (ou fragments) vers des formes plus régulières en bordure du gisement est révélatrice d'un changement de comportement, sans doute plus plastique.

IV-2.1.1 Morphologie et orientation des enclaves ovoïdes

Les enclaves basiques des gisements, qu'elles soient disséminées ou amassées sur la partie externe de l'essaim, présentent toutes une forme plus ou moins ovoïde et légèrement aplatie. Cependant, lorsqu'elles sont éparées au sein du granite, elles offrent une plus grande variété de formes (ovoïde, sigmoïde, en goutte d'eau ...) (Fig. 28).

Les mesures des axes d'aplatissement et d'étirement principal des enclaves ont été reportées sur un canevas de Wulff. A celles-ci ont été jointes les représentations des plans de schistosité frustes du granite relevés à proximité.

Comme le suggère cette représentation graphique (Fig. 29), il semble exister un lien étroit entre les plans de schistosité du granite encaissant et la morphologie des enclaves basiques. Ceci se traduit par un étalement en galette des enclaves dans le plan (N60-40W) de schistosité.

Les observations effectuées sur l'unique gisement du versant du Lauvitel se présentant en essaim viennent corroborer ces remarques (Fig. 64 page 167). Bien que visibles dans le seul plan vertical subméridien qu'est le pied de falaise aux sources de la Rousse Lauvitel, les enclaves montrent effectivement un étirement et un aplatissement correspondant au plan de schistosité intense de ce gisement (N60-30NW). Ici, enclave et encaissant, apparaissent nettement affectés par la schistosité.

D'autre part, l'étalement du nuage des axes d'étirements des enclaves dans le plan de schistosité occupe un large écart angulaire (de N130 à N30) sur le canevas de Wulff. Ceci pourrait refléter les variations notables d'orientation des contraintes présidant au modelage des enclaves dans le temps et/ou dans un espace limité (100 m au plus).

L'aspect sigmoïde de quelques enclaves disséminées dans le granite à proximité des gisements (quelques mètres) traduit bien les états successifs.

Figure n° 29 :

Aplatissements et étirements
des enclaves décimétriques des
essais du refuge des Sources
(Rochail)

- : axe d'étirement
- : axe d'aplatissement
- + : normale au plan de schistosité
du granite

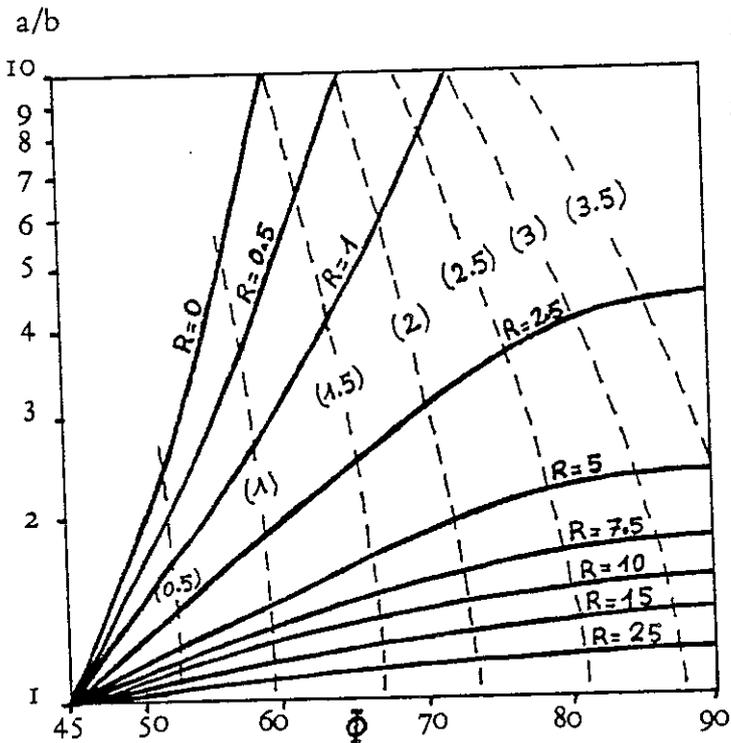
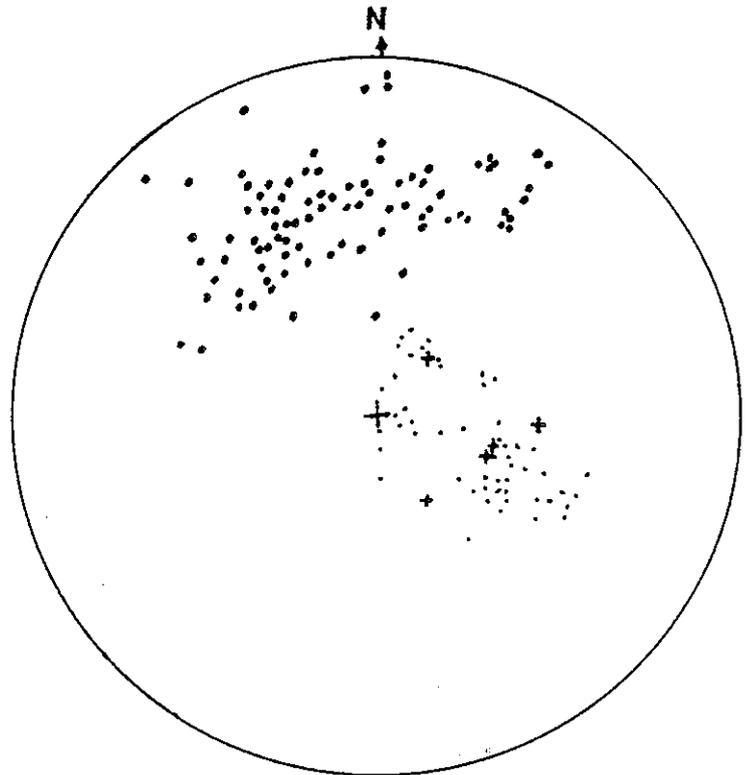


Figure n°30 : Variation de la forme a/b et de l'orientation ϕ d'une particule en fonction de l'intensité de la déformation (x) et du rapport R des viscosités.

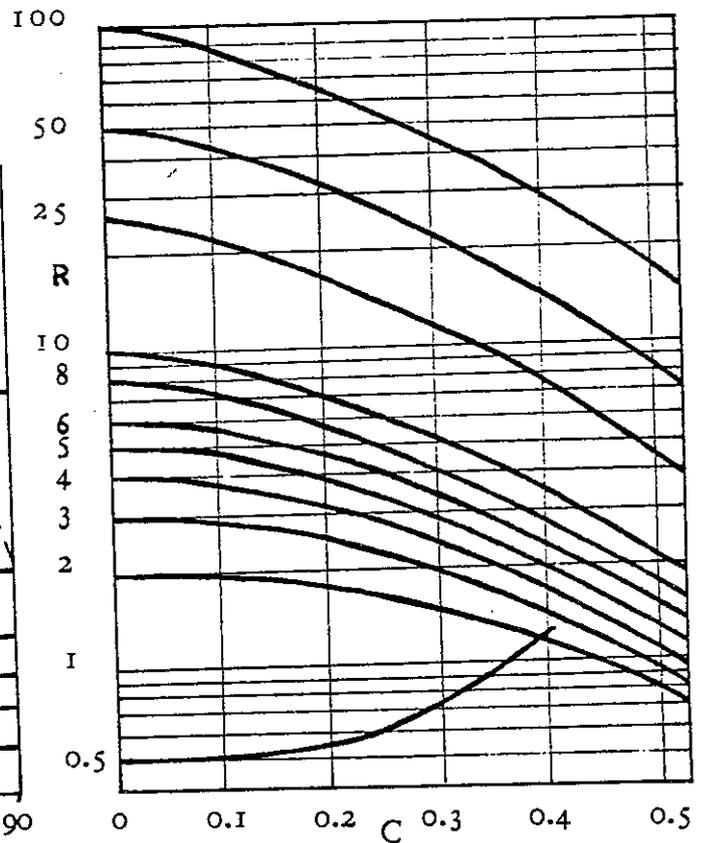


Figure n° 31 : Variation du rapport R entre la viscosité des particules et celle du système (matrice + particule) en fonction de la concentration C des particules (d'après Gay, 1968)

IV-2.1.2. Mécanismes de déformation du gisement

Selon toute vraisemblance, le gisement en essaim résulte de la fragmentation sous contraintes de gisement basique originellement massif et figé encaissé dans le granite (fragments anguleux sur le pourtour du coeur du gisement).

Cependant, les profils curvilignes des fragments ovoïdes et l'absence de fracturation consécutive de cet éclatement conduisent à envisager à la périphérie du gisement des états plastiques pour les matériels acide et basique lors des déformations. Dans ces conditions, les formes ellipsoïdales des enclaves traduisent la limitation des énergies de surface.

Ainsi, il y a dualité du comportement du matériel basique, solide au centre du gisement et plastique à sa périphérie. Par contre, le comportement plastique du matériel acide s'avère être constant.

2.1.2.1. Les conditions de déformations

Les figures d'écoulement dues à la juxtaposition de deux matériels plastiques sont étroitement liées à deux facteurs conjugués : la viscosité relative et la concentration.

Sur les affleurements à forte concentration de petites enclaves sur le flanc des gisements, l'allongement des enclaves devient important. D'après Marre (1982), ceci est symptomatique d'un écoulement intense qui tend à paralléliser les enclaves avec le plan de glissement, et suppose une viscosité relative fonction du volume relatif entre enclave et encaissant (Fig. 31).

" Les enclaves plus visqueuses que leur matrice doivent se déformer d'autant plus facilement qu'elles sont plus nombreuses."

Dans le cas des bordures des gisements en essaim du refuge des Sources, on peut estimer les concentrations relatives des enclaves basiques par rapport à l'encaissant granitique de l'ordre de 0.4 à 0.6.

Ainsi, en supposant le rapport de viscosité élevé ($R = 2$ à 3) entre les deux matériels lors de l'écoulement magmatique, on peut constater sur le diagramme de Gay (Fig. 31, 1968) que la viscosité relative de l'enclave à ces concentrations ($C = 0.4$ à 0.6) est voisine de l'unité, c'est-à-dire qu'encaissant et enclave adoptent un même comportement face aux déformations. Dans ces conditions (Fig. 30) les effets sur l'enclave sont dominés par une elongation (a/b).

Au contraire, si cette même enclave est isolée au sein du matériel granitique, la concentration relative sera très faible. Sa viscosité relative restera élevée par rapport au granite ($R = 2$ à 3). Les effets seront dominés par une rotation de l'enclave (Fig. 28).

D'autre part, les valeurs élevées de la viscosité relative des enclaves basiques dans ce second cas sont attestées par les formes souvent quelconques (parfois anguleuses) d'un grand nombre d'entre elles (Fig. 28).

Dans le matériel granitique encaissant, les phénocristaux centimétriques de feldspath alcalin précoces ont enregistré sommairement l'écoulement magmatique. Leurs orientations sont essentiellement subparallèles à l'élongation des enclaves. A proximité immédiate des enclaves isolées en particulier, ces feldspaths soulignent le fluage du granite.

2.1.2.2. Viscosité et degré de cristallisation

La viscosité d'un magma lors de sa mise en place dépend en particulier de sa température, et donc de son degré de cristallisation. Par voie de conséquence, celui-ci est responsable de la nature plus ou moins orientée du matériel subsistant des contraintes.

En fait, la morphologie des cristaux présents dans le magma peut faciliter l'acquisition de la structure orientée, en premier lieu, les lamelles de biotites des enclaves basiques, ou dans une moindre mesure, les feldspaths alcalins automorphes du granite encaissant.

Plus le degré de cristallisation du magma est élevé, plus sa viscosité augmente, jusqu'à atteindre le pourcentage rhéologique critique où le liquide ne représente que 20% (+/- 10) du volume total.

Au coeur du gisement le comportement du matériel basique face aux déformations est très proche de celui d'un solide : son degré de cristallisation est élevé et le liquide résiduel est inférieur à 20% du volume total.

2.1.2.3. Remarques

La différence de comportement, lors de la mise en place magmatique acide et basique, de la bordure du gisement par rapport au coeur solide est explicable par un abaissement du degré de cristallisation : refonte partielle et/ou surabondance de liquide résiduel.

- refonte partielle : après fragmentation de la masse basique solide, la température entre encaissant et enclave devient d'autant plus vite homogène que la dimension des enclaves est faible (0.1 m). Ainsi la température élevée du matériel acide visqueux et les pressions crustales lors de la mise en place suffiraient-elles à justifier une remobilisation partielle des enclaves.
- la pénétration dans le matériel basique de liquides silicatés en provenance de l'encaissant peut expliquer la plasticité en bordure du gisement.

L'une ou l'autre de ces hypothèses implique un enrichissement en feldspath alcalin et/ou en quartz du matériel basique constituant les enclaves décimétriques des essais par rapport aux facies syénitiques au coeur des affleurements. Ceci est effectivement observé au refuge des Sources.

IV-2.1.3. Conclusion

Il apparaît tout d'abord que la mise en place des matériels acide et basique peut être considérée comme synchrone au refuge des Sources.

"Les contraintes appliquées graduellement sur un matériau à viscosité élevée déterminent un comportement ductile contrairement à des contraintes brusques qui peuvent provoquer des ruptures qui sont les guides de filons parfois précoces". (E. Wegman, 1963, J.G. Ramsay, 1967).

Ceci expliquerait l'absence de fracturation du gisement basique et conforterait l'idée de sa fragmentation au cours de l'écoulement très visqueux du matériel encaissant.

L'abaissement de la viscosité relative en fonction de la concentration conduit les enclaves à enregistrer plus facilement l'état de contraintes et le sens des écoulements en particulier en bordure du gisement. Leur forme en galette traduit bien l'anisotropie des contraintes qu'elles subissent. La schistosité du granite en est une autre expression sans doute plus tardive.

Les masses basiques importantes emballées dans le magma granitique avaient un comportement proche de celui d'un solide. Après fragmentation, les enclaves de la périphérie sont pénétrées par des liquides acides en provenance de l'encaissant et/ou subissent une remobilisation partielle.

IV-2.2. Le gisement en masse compacte

Ces gisements diffèrent des précédents, en essaim, par un volume plus important, peu ou pas de contacts acide-basique pouvant s'expliquer par des phénomènes magmatiques, et par plusieurs facies syénitiques distincts. Les gisements types sont ceux de la cascade du Lauvitel et de Bellecote.

IV-2.2.1. Morphologie du gisement

Ce type de gisement est ramassé. Il est constitué de deux facies distincts : syénitique au coeur et monzosyénitique en bordure. Les contacts soit entre encaissant et matériel basique, soit entre les deux facies, sont repris ultérieurement par des déformations masquant les relations originelles.

L'ordre d'inclusion est toujours du plus basique dans le plus acide, c'est-à-dire :

- enclave du matériel syénitique dans le facies monzosyénitique
- enclave du matériel monzosyénitique dans le granite.

Quelques rares enclaves fusiformes de faibles dimensions (10-15cm) isolées ont été notées, en particulier à la cascade du Lauvitel. L'étirement de ces enclaves correspond tout comme aux Sources, à la schistosité du matériel dans lequel elles sont incluses.

IV-2.2.2. Conclusion sur la plasticité du matériel basique

Les enclaves basiques en masses compactes du versant oriental du massif du Rochail présentent assez peu de contacts acide-basique non repris ultérieurement par les déformations post magmatiques.

L'importance volumétrique de ces enclaves, l'ordre d'inclusion du matériel le plus basique dans le plus acide, et l'absence presque totale de fragmentation analogue à celle affectant les enclaves du refuge des Sources sont autant d'indices en faveur de l'hypothèse d'une masse basique figée emballée dans le granite plus visqueux.

IV -3. Répartition des gisements dans le massif

Jusqu'à présent, aucune carte géologique ne donne suffisamment de précisions sur la position de toutes les enclaves basiques du massif du Rochail.

Les gisements basiques sont de deux types (essaim et masse compacte) pouvant être chacun associé à un secteur du massif (refuge des Sources et Lauvitel-Bellecote).

IV-3.1 Le secteur du refuge des Sources

Les caractères principaux des gisements en essaim du refuge des Sources sont :

- les gisements des Sources ont une orientation assez constante voisine de N130.
- le matériel basique est de nature monzosyénitique mais très feldspathique
- morphologie en essaim : cette architecture ancienne est due à un écoulement visqueux lors de la phase magmatique de mise en place du batholite granitique.

IV-3.2 Le secteur Lauvitel-Bellecote

La plupart des gisements basiques affleurant sur le versant oriental du massif du Rochail possède un certain nombre de traits communs :

- ils affleurent soit en pied de falaise, soit en balcons herbeux, orientés Nord-Sud dans les falaises en rive gauche du ruisseau du Lauvitel.
- Ces gisements sont massifs et compacts, hormis celui des sources de la Rousse Lauvitel dont la morphologie en essaim est semblable à celle des gisements du refuge des Sources.

- Les facies pétrographiques, syénite et monzosyénite, et leurs aspects macroscopiques (syénite grenue homogène, à feldspaths blastiques ...) sont très semblables.
- Tous ces gisements sont compartimentés par des accidents postérieurement à la mise en place magmatique des matériels acide et basique. Le seul jeu de ces accidents pourrait expliquer pour une large part la dispersion de ces gisements en masse compacte dans les falaises du Lauvitel et de Bellecote.

IV-3.3. Conclusion

La différence de morphologie entre les deux types de gisement remonte à l'histoire magmatique du granite du Rochail.

La plupart des gisements du versant oriental du massif correspondent originellement à une même structure étirée Nord-Sud et d'extension kilométrique (ou plus si l'on considère le gisement de Bellecote). Sa dislocation est due à une tectonique post-magmatique.

Les gisements en essaim du refuge des Sources, lambeaux de beaucoup plus faible dimension (100 m) sont plus sensibles à l'écoulement magmatique (orientation N130, étirement des enclaves).

Les particularités morphologiques des enclaves basiques du Rochail semblent symptomatiques de mises en place à des niveaux structuraux différents : en effet, le granite du Clapier, encaissant des enclaves en essaims du refuge des Sources, possède une position apicale par rapport au granite du Rochail s.s. (enclaves plus massives et compactes).

IV -4. Modèle de mise en place des matériels acide et basique du Rochail

La phase terminale de mise en place du matériel basique et de son encaissant granitique se subdivise en deux étapes :

- la mise en place magmatique

le matériel acide à l'état visqueux au cours de son intrusion dans la croûte entraîne des lambeaux de matériel basique largement figé. Cette mise en place se fait le long d'un accident orienté approximativement Nord-Sud.

Sous les effets des écoulements intenses du magma granitique de plus en plus visqueux se détachent quelques lambeaux à leur tour fragmentés. Simultanément, les fragments sont partiellement remobilisés et/ou soumis à la circulation de liquides silicatés en provenance de l'encaissant (granitisation).

En fin de phase magmatique, les contraintes liées à un écoulement de plus en plus visqueux du matériel acide induisent ultérieurement une schistosité dans le granite en cours de solidification.

- la dislocation tectonique

Postérieurement à sa mise en place magmatique, et en particulier au cours de la phase tectonique alpine, le batholite granitique est affecté par une série d'accidents ayant pour conséquences son écaillage (pincement de la charnière liasique au-dessus de Villard Notre-Dame). Au cours de cette phase, la structure basique Nord-Sud enclavée dans le granite du Rochail est disloquée et compartimentée.

CINQUIEME CHAPITRE

PETROGRAPHIE

V - 1. But de l'étude

V - 2. Le granite du massif du Rochail

V - 2.1. Généralités

V - 2.2. Le granite du Rochail s.s.

V - 2.3. Le granite du Clapier

V - 3. La "syénite du Lauvitel"

V - 3.1. Généralités

V - 3.2. La syénite porphyroïde

V - 3.3. La syénite à feldspath blastique

V - 3.4. Le facies syénitique de contact

V - 3.5. La monzosyénite porphyroïde

V - 3.6. La monzosyénite des Sources

V - 4. Conclusion à l'étude de la pétrographie du Rochail

V - 5. Grandes Rousses - le granite de Roche Noire

V - 6. Le granite du Péou de St Maurice

PETROGRAPHIE

V - 1. But de l'étude

Cette étude pétrographique porte sur les textures et les associations minérales des facies basiques amphibolo-biotitiques et de leurs encaissants granitiques.

Son but est d'établir, à partir de l'observation microscopique qualitative, la cristallogénèse de l'ensemble de ces facies et les paragénèses qui en découlent. La synthèse de ces données pétrographiques permettra de cerner la nature et les caractères des matériels acide et basique originels avec un aperçu sur leurs conditions de cristallisation.

Les teneurs minéralogiques des facies décrits dans ce chapitre ont été évaluées optiquement à l'aide de la charte visuelle.

Les analyses des principaux minéraux des granites et des facies syénitiques ont été effectuées sur les microsondes CAMEBAX de Montpellier et Clermont-Ferrand. Les résultats sont consignés dans les tableaux II à IX (pages 157 à 165). Quelques unes de ces analyses ont été utilisées dans ce chapitre à titre indicatif, en particulier pour les biotites.

V - 2. Le granite du massif du Rochail,

V-2.1. Généralités

Le granite du massif du Rochail présente deux facies distincts (Fig. 5), subdivisions déjà suggérées par Giraud (1952) et Buffière (1964) :

- le facies gris isogranulaire constitue la plus grande partie du massif et sera appelé granite du Rochail s.s dans cette étude,
 - le facies rosé à verdâtre, porphyroïde, affleure en continuité du précédent sur la bordure Nord du massif, ou granite du Clapier.
- Il possède une position apicale par rapport à l'ensemble du massif.

Figure n° 32
Granite du Rochail s.s.
Cascade du Lauvitel
(Ech R.L. 108)

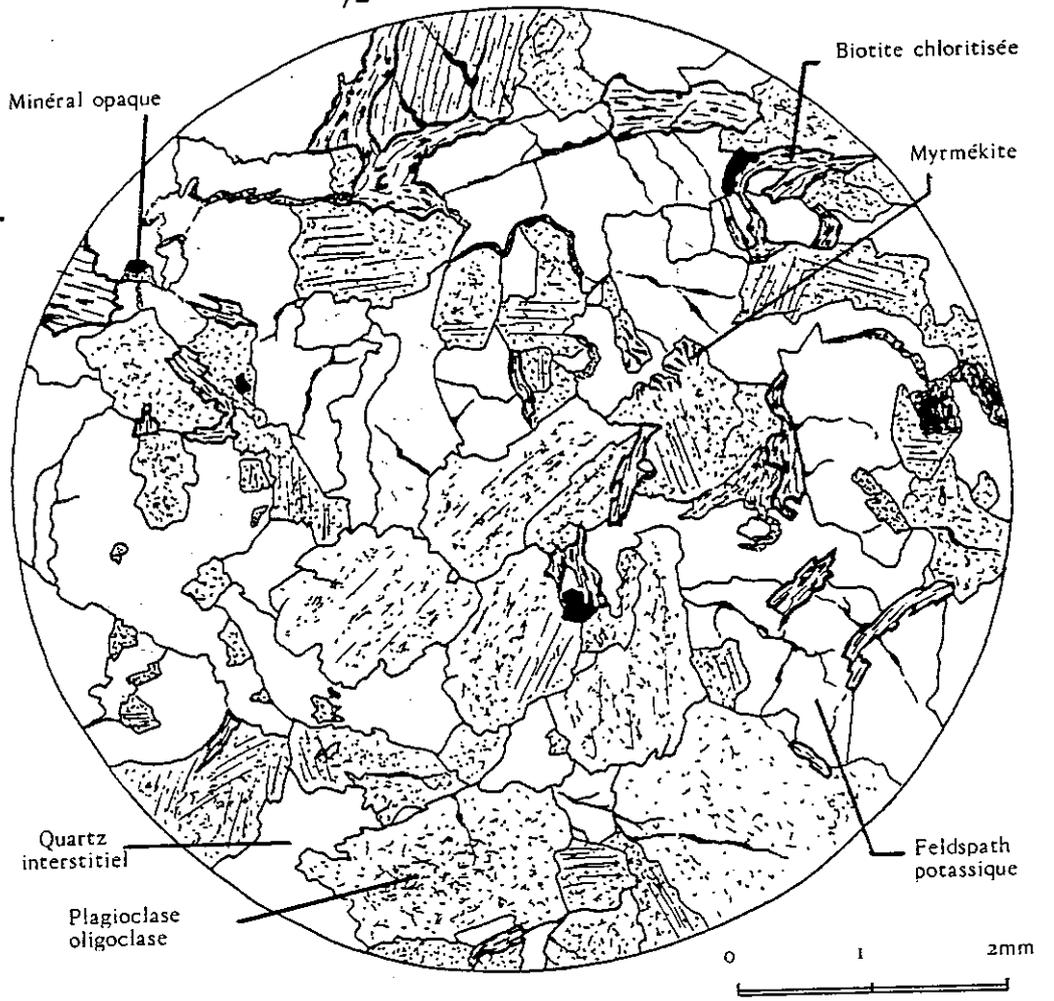
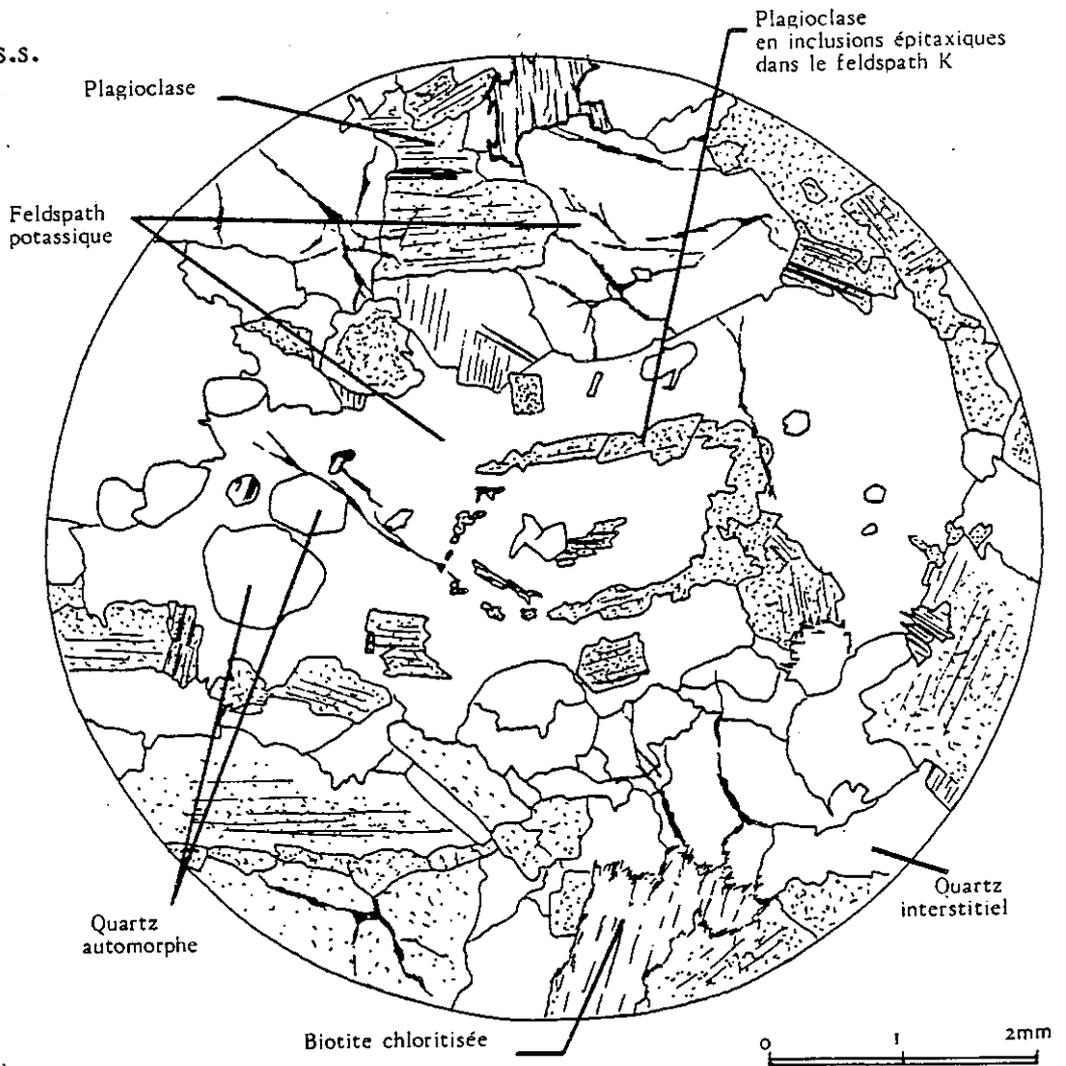


Figure n° 33
Granite du Rochail s.s.
Cascade du Lauvitel
(Ech R.L. 111)



V-2.2. Le granite du Rochail s.s. (Fig. 32)

ech. RL 101 RL 108 : cascade du Lauvitel
 ech. RL 312 : Bellecote

Le granite du Rochail s.s est la roche encaissante des enclaves syénitiques du versant Ouest du Lauvitel. Aucune variation notable du faciès n'a été remarquée.

Texture

Très pauvre en biotite chloritisée, le pétrotype (éch RL 101) est gris à légèrement verdâtre et tend vers les termes hololeucocrates. Il est homogène, isogranulaire à grain moyen. Sa texture généralement équate peut être localement affectée d'une schistosité. Celle-ci est par exemple intense sur les affleurements des sources de la Rousse Lauvitel (Fig. 64 page 167).

Minéralogie

- quartz précoce recristallisé (cf. remarques p.76)	tr.
- quartz tardif	25-30%
- feldspath potassique perthitique (85-95% or)* légèrement zoné, à couronne externe albitique	20-25%
- plagioclase oligoclase séricitisé et zoné,	40-45%
- biotite partiellement chloritisée ($Mg/Mg + Fe = 0.46$)	3-5%
- Apatite	< 1%
- Zircon	tr.
- Minéraux d'altération (chlorite, séricite, calcite, oxydes de fer)	tr.
- oxyde de fer (pyrite hématitisée)	tr.

Apatite et zircon cristallisent précocement. Ces minéraux s'associent fréquemment par la suite avec la biotite, plus tardive, et avec laquelle ils possèdent une certaine affinité (Fig. 34).

Le plagioclase millimétrique apparait massivement dans le bain magmatique où sa croissance peu contrariée lui permet d'acquérir des contours automorphes mais festonnés. La zonation est peu marquée.

Le feldspath potassique (85-95% or)* germe dans le milieu enrichi en alcalins. Il piège au cours de sa croissance quelques petits cristaux de plagioclase qui se disposent en épitaxie autour du coeur automorphe. Cependant, cette orthose perthitique n'atteint jamais l'idiomorphisme.

* : analyse chimique

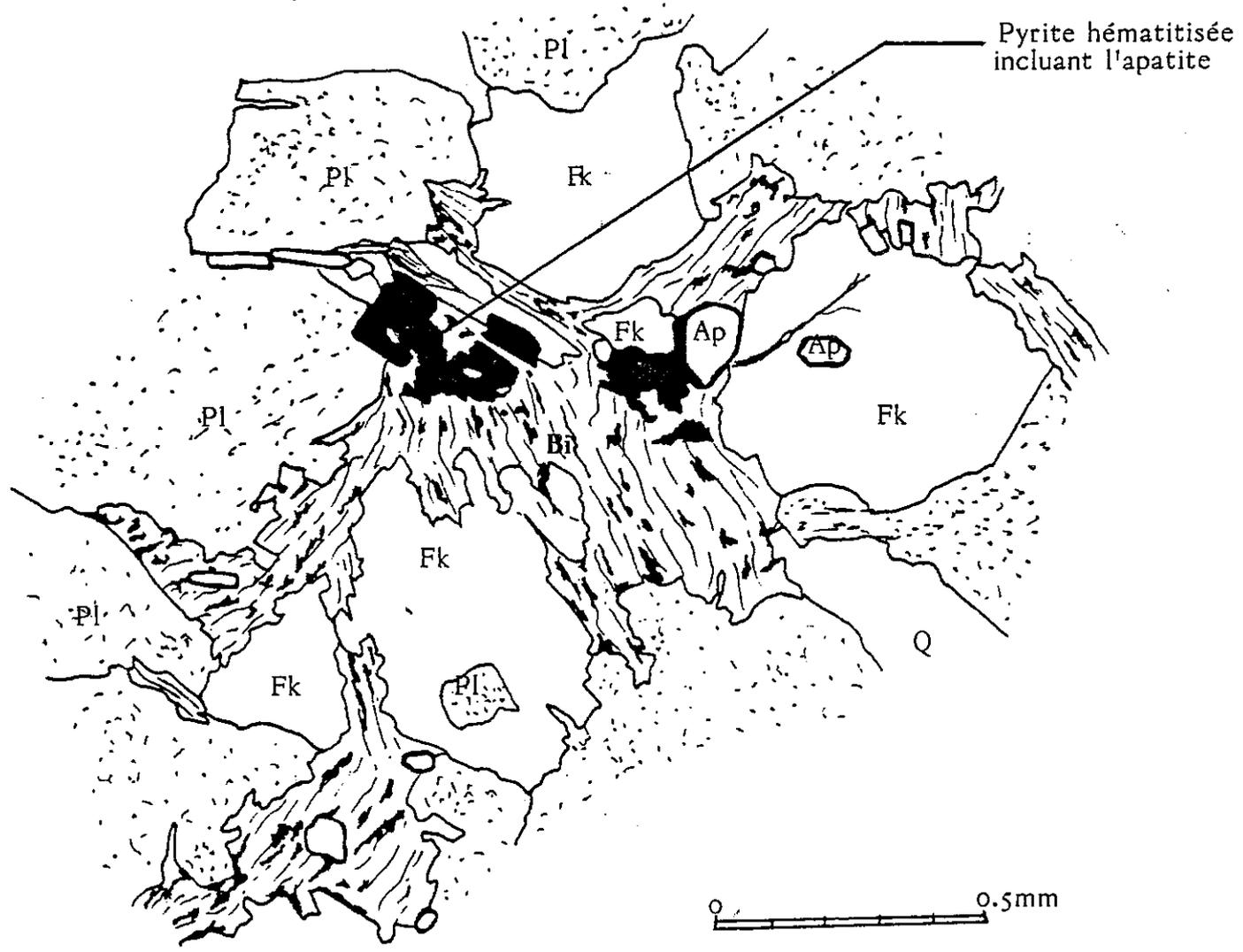


Figure n° 34 : Aspect interstitiel de la biotite du granite du Rochail s.s

La structure microscopique pourrait suggérer une cristallisation de biotite (associée à l'apatite et au zircon) avec un habitus interstitiel entre les cristaux émoussés de feldspath.

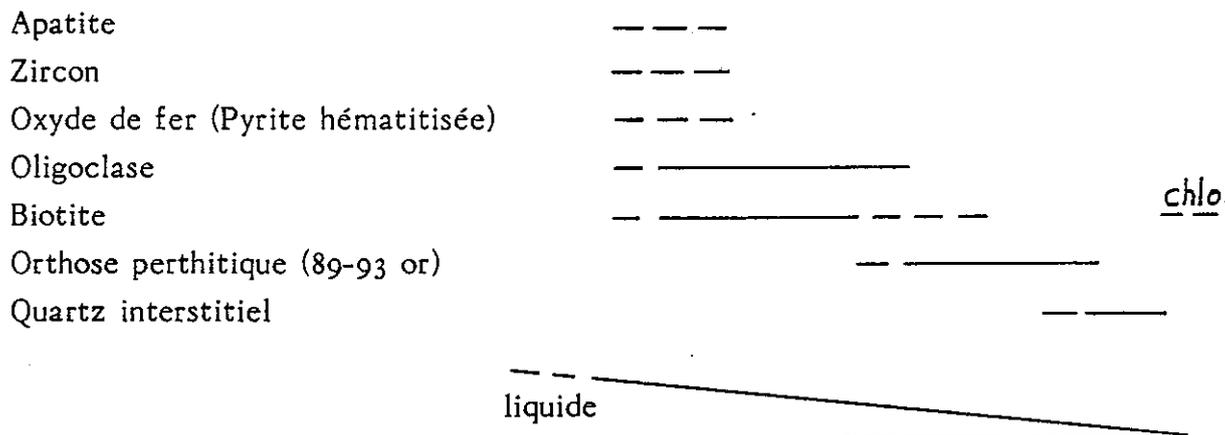
Bien que répondant aux apparences, ce phénomène est pétrogénétiquement improbable. En fait, une part notable du feldspath s'est développée postérieurement aux agrégats de biotite, apatite et zircon. L'envahissement continu de l'orthose, accompagné d'une déformation de la roche en voie de cristallisation a refoulé la biotite flexueuse dans une position interstitielle apparente.

Le plagioclase est en déséquilibre avec le feldspath alcalin nouvellement formé (bourgeons myrmékitiques) et avec le liquide résiduel (altération). Sur les franges des cristaux, cette altération matérialisée par de fines paillettes de séricite souligne faiblement les rares fronts de croissance. La présence de calcite parmi les produits néoformés révèle la nature légèrement plus basique du coeur des cristaux de plagioclase. Il s'agit d'un oligoclase. L'envahissement continu du feldspath potassique, accompagné d'une déformation de la roche en voie de cristallisation (biotite flexueuse) contraint biotite-apatite-zircon à adopter un habitus en apparence interstitiel. Le quartz est tardif et en plages engrenées.

Les mouvements accompagnant les dernières étapes de cristallisation du matériel granitique s'impriment sur les minéraux (flexures des biotites et des macles de quelques plagioclases, moirage du feldspath potassique, extinction ondulante du quartz).

Après induration totale de la roche, la cataclase des minéraux (quartz, feldspath potassique, Fig. 32) favorise la circulation de fluides à l'échelle granulaire. Ceux-ci induisent la chloritisation de la biotite. Cette altération est due à des phénomènes tardi magmatiques fini-hercyniens (293 Ma) : Demeulemeester (1982).

Schéma de cristallisation



estimation du milieu : visqueux - visco-élastique - élastique - cassant

Conclusion

Les étapes de la cristallisation du granite du Rochail s.s. d'un point de vue minéralogique sont tout à fait classiques pour un matériau de ce type.

Les échantillons prélevés à proximité de l'enclave basique de Bellecote (Fig. 14) présentent des caractères minéralogiques analogues. Cependant, la cataclase des minéraux y est beaucoup plus prononcée (localement, aspect de microbrèche). Ce secteur est affecté par un grand nombre d'accidents post-magmatiques. Seules les teneurs en quartz (35 à 40%) et plagioclase (35-40%) accusent une légère variation à Bellecote.

Remarques

L'analyse microscopique de quelques échantillons (ech. RL 111) prélevés en éboulis au lieu dit "Cascade du Lauvitel" dans le lit du ruisseau descendant de la combe de Malhaubert (Fig. 11) suggère une histoire précoce du granite du Rochail plus complexe. En effet, outre son caractère tardif et interstitiel, le quartz présente un autre habitus : précoce et subautomorphe scellé par le feldspath potassique (Fig. 33).

Dans le granite en place à la Cascade du Lauvitel, ce quartz précoce est exceptionnel. Il est le plus souvent recristallisé et ne conserve que ses contours automorphes.

V-2.3. Le granite du Clapier

Ech. RL 201 : refuge des Sources

Ce granite que l'on rencontre en bordure Nord du massif du Rochail et en particulier au Clapier d'Auris, est le matériel encaissant des enclaves syénitiques du refuge des Sources. L'échantillon à partir duquel a été établie la présente description a été prélevé à quelques mètres du contact entre encaissant et enclave (Fig. 19).

Texture

Le granite du Clapier possède un grain grossier, porphyroïde, et se trouve localement affecté d'une schistosité fruste. Hormis ses teneurs en biotite en général plus élevées par rapport au faciès Rochail, ce granite contient de nombreux phénocristaux automorphes de feldspath potassique centimétriques rosés lui conférant sa teinte. La roche est ponctuée par la biotite chloritisée verdâtre.

Compte tenu de l'hétérogénéité granulométrique de ce faciès, les teneurs minéralogiques du feldspath potassique sont probablement sous-estimées.

Minéralogie

- Quartz tardif	20-25%
- Feldspath potassique perthitique (97%-90%or) * avec moirage du microcline	15-20%
- Plagioclase Oligoclase zoné	50-55%
- Biotite	≈ 5%
- Amphibole (hornblende verte ?) rétromorphosée	tr.
- Oxydes de fer (pyrite hématitisée)	tr.
- Sphène	} 1%
- Apatite	
- Zircon	
- Minéraux d'altération (chlorite, sericite, calcite, épidote...)	tr.

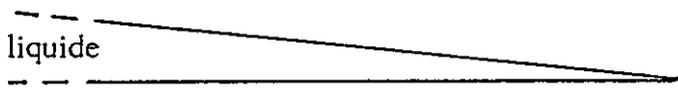
* :analyse chimique

Loin du contact acide basique, le granite du Clapier offre une minéralogie et un schéma de cristallisation très semblable à celui du granite du Rochail s.s. Toutefois, le feldspath potassique perthitique en cristaux centimétriques automorphes (2-3cm) précoce a piégé en épitaxie l'oligoclase germant simultanément dans le bain magmatique riche en potassium. Biotite et sphène (leucoxène) sont absorbés dans la frange externe des phénocristaux de feldspath potassique et du plagioclase. De nouveaux germes de feldspath potassique continuent de croître, conservant les mêmes figures épitaxiales au coeur mais deviennent de plus en plus poecilites (biotite, apatite, sphène). La croissance de plus en plus tardive de ces cristaux leur donne des contours xénomorphes.

A proximité du contact acide-basique (quelques mètres), la minéralogie du granite du Clapier devient plus complexe. Le granite s'enrichit en biotite, sphène (leucoxène), apatite prismatique (20-50 μ de diamètre) et de rares hornblendes vertes. Ces minéraux sont souvent regroupés en microamas interstitiels ou plus rarement en inclusion dans les plages tardives de feldspath potassique poecilite. L'amphibole qui a englobé lors de sa croissance de l'apatite prismatique et du sphène est par la suite rétrotransformée (chlorite, calcite, albite, oxyde de fer...). Le feldspath potassique est vraisemblablement microclinisé au cours de mouvements accompagnant la phase terminale de cristallisation déformant puis fissurant les minéraux. En se chloritisant, la biotite incluse dans le plagioclase libère le potassium contribuant à la formation de sericite. Fe et Ti donnent naissance à des granules d'oxydes opaques, ou, en s'associant au Ca du plagioclase, nourrissent de petits grains de sphène.

Schéma de cristallisation

- Oxyde de fer (Pyrite hématitisée) — — —
- Apatite — — —
- Zircon — — —
- Oligoclase — — —
- Biotite partiellement chloritisée — — — — —
- Orthose perthitique (88-93 or)*automorphe — — — — —
- Orthose xénomorphe (88-93 or) * — — — — —
- Quartz interstitiel — — — — —
- Apatite prismatique (20-50 μ) — — —
- Sphène (leucoxène) — — —
- Amphibole — — — — —



milieu : visqueux - visco-élastique - élastique - cassant

* : analyse chimique

Remarques

- certains individus de quartz du Clapier présentent des contours courbes qui ne sont pas sans rappeler les cristaux subautomorphes précoces décrits dans le facies Rochail s.s.
- La présence, à proximité des contacts acide basique, d'amphibole (hornblende verte), apatite prismatique et sphène en plus des minéraux classiques des granites du Clapier ou du Rochail peut s'expliquer de deux façons :
 - ce sont des minéraux précoces du granite appartenant à une phase de cristallisation ancienne dont l'équilibre a été détruit.
 - ces minéraux résultent d'une pollution du matériel acide au cours de sa mise en place à l'état visqueux par le matériel basique se trouvant à proximité : effet d'arrachement.

Conclusion

Simple en apparence, la cristallisation du granite du Clapier semble avoir eu une histoire précoce dont il ne resterait que de rares vestiges (quartz automorphes...).

Le granite du Clapier aurait été contaminé par la syénite du Lauvitel au contact des enclaves, au cours de la mise en place magmatique.

V - 3. La "syénite du Lauvitel"

V-3.1. Généralités

En traitant globalement le problème des affleurements de syénite du Lauvitel, Termier (1896) puis Buffière (1961) n'y distinguent aucune variation notable de facies. L'accent de leurs descriptions pétrographiques portait davantage sur certains traits minéralogiques (sphènes) ou texturaux d'un même facies type.

Plus particulièrement axée sur une description minutieuse de quelques uns de ces affleurements seulement, la présente étude a permis de subdiviser ce matériel basique en un certain nombre de facies d'après leur aspect macroscopique.

Le passage de l'un à l'autre de ces facies se faisant le plus souvent graduellement, les limites dans la classification ont été fixées sur la base de discontinuités morphologiques et/ou minéralogiques.

Ces facies sont :

- syénite porphyroïde - Bellecote
- syénite à feldspath blastique - Bellecote - Cascade -
- syénite grenue homogène (facies de contact) - Bellecote - Cascade -
- monzosyénite porphyroïde - Bellecote - Cascade -
- monzosyénite feldspathique - Refuge des Sources

V-3.2. La syénite porphyroïde (Bellecote): fig. 35

Ech. RL 306 - RL 307 - RL 310 Bellecote

Le facies syénitique porphyroïde affleure dans le lit du torrent du Pis Salé dans la partie haute du gisement de Bellecote (Fig. 14).

Ce facies, visible sur une bande étroite (3 x 1 m) se distingue de son encaissant syénitique à feldspath blastique par de nombreux caractères texturaux et minéralogiques.

Texture

Le facies syénitique porphyroïde est constitué d'une matrice grenue équante mais homogène, relativement pauvre en biotite et feldspath. De cette matrice se détachent quelques éléments centimétriques à structure fibroradiée vert pâle souvent entourés d'une corona biotitique.

Ovoïde pour les plus grands individus (2-3 cm), la forme de ces ocelles tend pour les plus petits (cm) vers des contours subrectangulaires émoussés.

Minéralogie

Pseudomorphose de minéraux

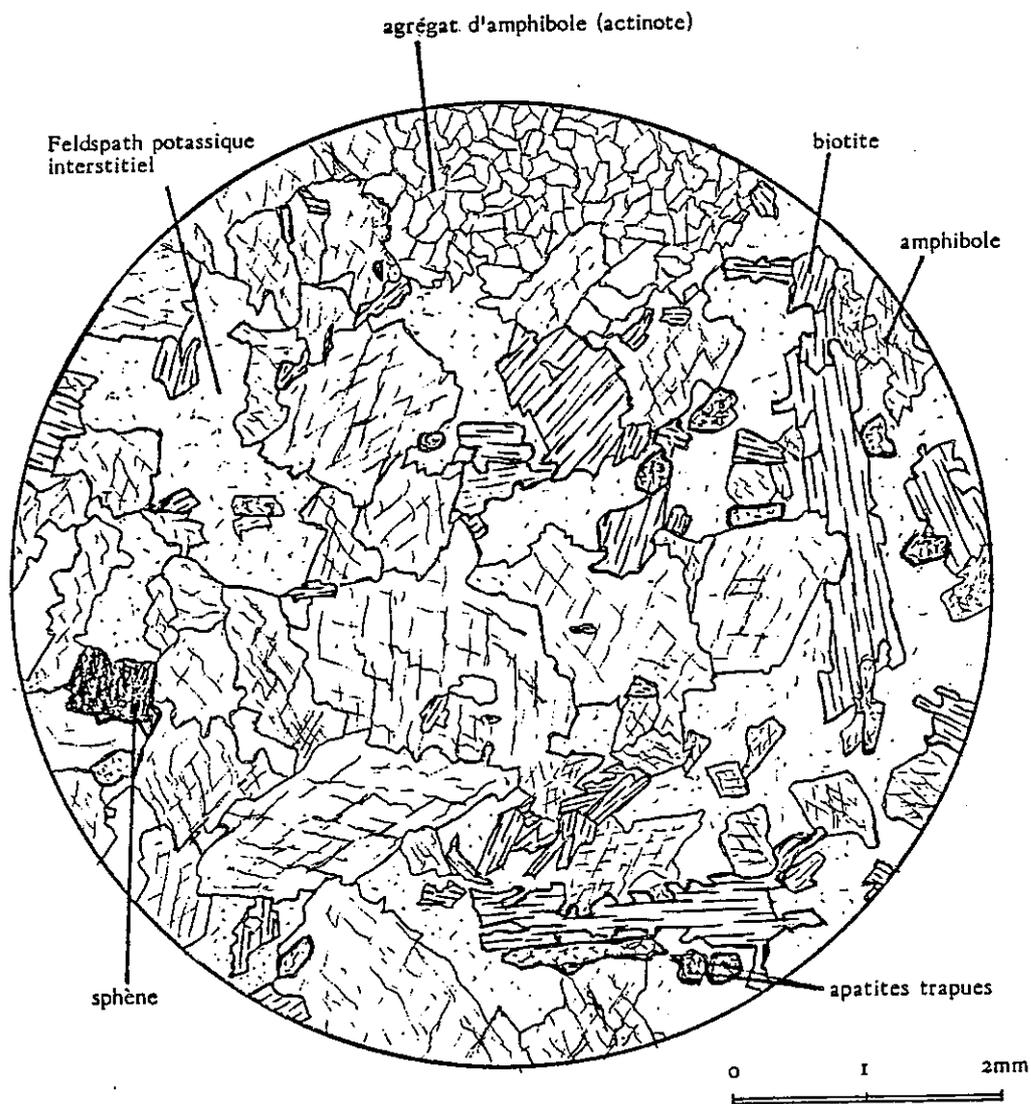
- Ocelles fibroradiées (olivine ou pyroxène pseudomorphosé ?) quelques individus
- Clino pyroxène (clivages suborthogonaux) abondant

Minéraux exprimés

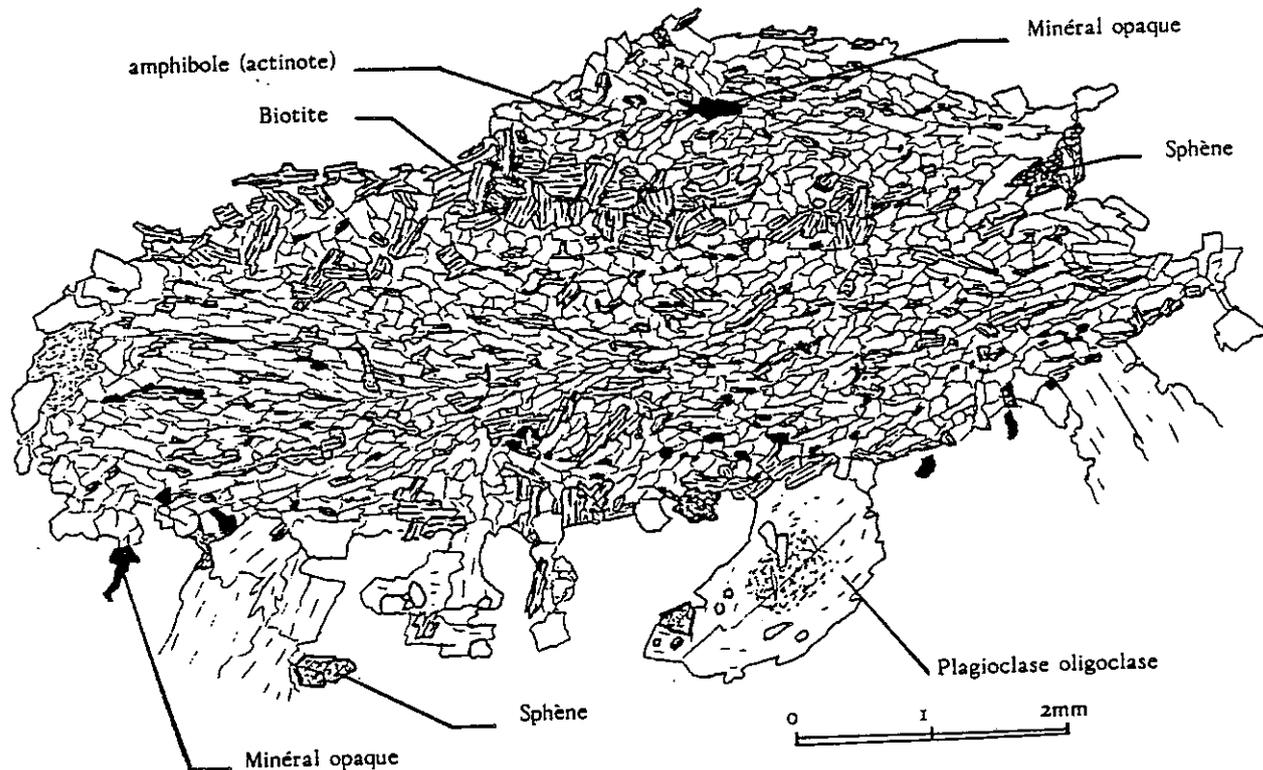
- Quartz tardif tr.
- Feldspath potassique perthitique (96 % or)* 20-25 %
avec moirage du microcline
- Plagioclase Oligoclase 3-5 %
- Biotite phlogopitique < 5 %

* : analyse chimique

Figure n° 35
Syénite porphyroïde
Ech. R.L. 307
Bellecote (Rochail)



Coupe longitudinale d'un amas d'amphibole et biotite (olivine rétrotransformée ?) Ech R.L.310. Noter la disposition régulière des amphiboles dans l'amas.



- Amphibole (hornblende actinolitique à actinote)	50-55 %
- Oxydes opaques (Ilménite)	tr.
- Sphènes	< 1 %
- Apatite trapue (150-200 μ de diamètre)	\approx 1 %
- Apatite prismatique (20-50 μ)	tr.
- Zircon	tr.
- Minéraux d'altération (calcite, sericite, chlorite...)	tr.

Les vestiges de minéraux

Ocelles fibroradiées : l'actinote, les oxydes de fer et plus rarement la biotite pseudomorphosent un minéral centimétrique (calcique) ferrifère et très magnésien : olivine ou pyroxène (Fig. 65 page 167).

La disposition radiaire des minéraux millimétriques de rétro-morphose accrédite l'hypothèse d'une olivine antérieure. La présence de ce minéral aux stades précoces de la cristallogénèse du matériel basique supposerait une origine profonde.

La corona de biotite phlogopitique, autour de la plupart de ces ocelles fibroradiées, serait la conséquence de phénomènes réactionnels de l'olivine avec son milieu dans des conditions thermodynamiques défavorables.

Les grains d'oxyde de fer (hématite) proviennent de la destabilisation des grains de magnétite précoce dans l'olivine et/ou des exsudations de fer du périclase en cours d'altération.

Du clinopyroxène millimétrique précoce ne subsistent que les clivages sub-orthogonaux au coeur de certaines amphiboles. Celles-ci, plus pâles au centre possèdent un coeur de hornblende verte entouré d'actinote. Autour du coeur se produit simultanément une exsudation de quartz et d'albite due à la transformation du pyroxène en amphibole : ouralisation d'un pyroxène calcique (Fig. 36).

L'olivine cristallise précocement. Sa croissance durable lui permet d'atteindre une taille centimétrique. Le pyroxène germe et atteint des tailles millimétriques. L'apatite trapue (200 μ), le zircon et le sphène (?) s'associent à cette paragenèse précoce du magma basique. Le plagioclase basique commence à cristalliser.

Un nouvel état thermo-dynamique conditionne l'apparition d'une nouvelle paragenèse. La biotite à tendance phlogopitique et l'amphibole (hornblende verte - actinote) cristallisent aux dépens de l'olivine et du pyroxène.

Le plagioclase calcique en déséquilibre dans un milieu plus acide se séricitise et perd une partie de son calcium. Les conditions de stabilité sont celles de l'Oligoclase.

L'apatite se développe sous une forme prismatique (20-50 μ de diamètre) rarement canaliculée. Le sphène recrystallise et piège l'apatite prismatique, la biotite et moule l'amphibole.

La troisième phase de cristallisation de la syénite porphyroïde correspond à l'apparition des minéraux clairs :

le feldspath potassique (90-95% or)* est xénomorphe et perthitique (2-3mm). Il présente souvent le moirage du microcline. Sa nature exacte (orthose ou microcline) n'a pas été déterminée.

l'apatite aciculaire (5-10 μ) est rare. C'est l'hôte privilégié du feldspath potassique.

le quartz est interstitiel avec une extinction ondulante.

Schéma de cristallisation

Les minéraux exprimés et à l'état résiduels dans le facies syénitique porphyroïde de Bellecote correspondent à trois équilibres successifs ; d'où trois générations de minéraux :

Première génération : paragenèse ancienne

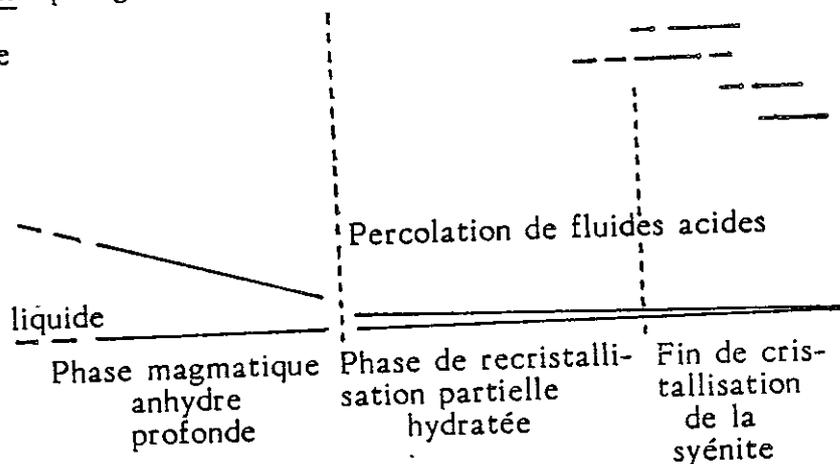
Ocelles fibroradiées (olivine) -----
 Clinopyroxène -----
 Apatite trapue -----
 Zircon -----
 Sphène (+/-) -----
 Plagioclase calcique -----

Deuxième génération : paragenèse de remplacement

Biotite phlogopitique Mg/Mg + Fe = 0.69 -----
 Amphibole (hornblende verte - actinote) -----
 Apatite prismatique -----
 Oxydes opaques -----
 Sphène recristallisé -----
 Plagioclase Oligoclase -----

Troisième génération : paragenèse à affinité alcaline

Feldspath potassique
 Apatite aciculaire
 Albite
 Quartz



* : analyse chimique

Conclusion

Trois associations minérales se superposent dans le facies syénitique porphyroïde. Celles-ci pourraient être révélatrices de trois états d'équilibre physico-chimique successifs dans lesquels s'est trouvé le matériel basique :

- la plus ancienne paragénèse est la plus basique et la plus profonde. Elle est constituée de minéraux stables à haute pression et haute température (olivine (?), pyroxène...). En fin de cristallisation de cette paragénèse, le matériel basique pourrait avoir été totalement solidifié.
- la seconde paragénèse possède des minéraux hydratés (biotite, hornblende verte) ayant cristallisé aux dépens des minéraux plus basiques (olivine, pyroxène...) devenus instables dans des conditions de pression et température plus faibles. Ces minéraux néoformés seraient les indicateurs de l'intrusion granitique disloquant et transportant les enclaves basiques.
- l'association minérale la plus récente correspondrait à la cristallisation de liquide résiduel et/ou fluide acide percolant en provenance du granite encaissant à des niveaux encore moins profonds.

V-3.3. La syénite à feldspath blastique (Fig. 36)

Ech. RL 308 Bellecote
Ech. RL 103 Cascade du Lauvitel

Ce facies affleure sur la plus grande partie du gisement de Bellecote et de la Cascade du Lauvitel. Il est macroscopiquement hétérogène : Ceci est du à l'important développement des plages très poéclitiques (biotite, amphibole, sphène, apatite...) de feldspath alcalin. Seules ou regroupées par deux ou trois, ces plages constituent les taches claires fusiformes et renflées que séparent entre elles les étroits septas corrélativement plus riches en minéraux ferromagnésiens (Fig. 63 page 167).

Texture

La syénite à feldspath blastique présente une texture grenue équante devenant localement grossière. Ce facies mésocrate est notablement plus riche en biotite et en feldspath alcalin.

Minéralogie

Minéraux pseudomorphosés

- Clinopyroxène tr.

Minéraux exprimés

- Quartz tardif < 3%
- Feldspath potassique blastique (96% or)* perthitique 30-40%
- Albite tardive tr.
- Plagioclase Oligoclase 3-5%
- Biotite phlogopitique (Mg/Mg+Fe = 0.63 à 0.66) 20-25%

* : analyse chimique

Amphibole avec résidus pyroxéniques au coeur

Biotite avec carène d'albite

Feldspath potassique en plages monocristallines très poéilitiques

apatite aciculaire

Figure n° 36

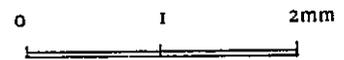
Syénite à feldspath blastique. Ech. R.L. 103
Cascade du Lauvitel (Rochail).

oligoclase séricitisé

agrégat biotitique

sphène

amphibole



Détail de deux amphiboles ayant des résidus pyroxéniques au coeur (Ech. R.L. 103)
Noter la bordure de réaction albitique entre l'amphibole et le feldspath potassique.

Fk

Fk

biotite

sphène

amphibole

exsudation de gouttelettes de quartz

apatite

sphène

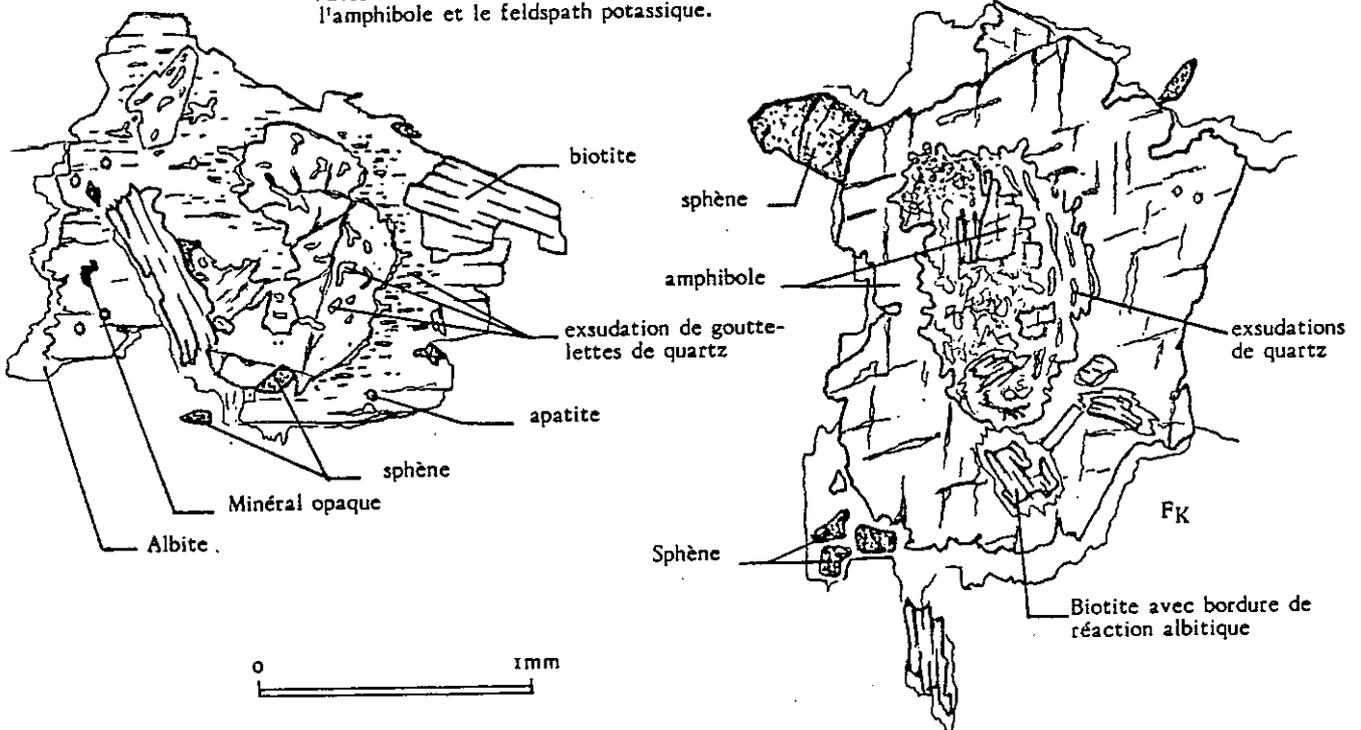
Minéral opaque

Albite

Sphène

Fk

Biotite avec bordure de réaction albitique



- Amphibole (hornblende actinolitique à actinote)	35-40%
- Oxydes de fer (Ilménite)	tr.
- Sphène	≈ 3%
- Apatite trapue	tr.
- Apatite prismatique	1-3%
- Apatite aciculaire	tr.
- Zircon	tr.
- Produits d'altération	tr.

Le pyroxène calcique résiduel matérialisé par ses clivages suborthogonaux au coeur de quelques rares amphiboles témoigne de la présence d'une paragenèse ancienne à laquelle ce minéral appartenait.

Du plagioclase basique cristallisant simultanément ne subsistent que quelques individus en plages floues sur fond de feldspath potassique. Le zircon et l'apatite trapue font partie de ce premier cortège minéralogique (avec peut être le sphène).

Suite aux changements physico-chimiques du milieu, les minéraux précoces subissent des rééquilibrages :

- séricitisation du plagioclase calcique et perte de calcium au profit de l'amphibole et/ou du sphène. Le plagioclase cristallisant est un oligoclase. Il piège quelques rares biotites et des apatites prismatiques à sa périphérie.
- ouralisation du pyroxène calcique : une amphibole calcique (hornblende verte) se substitue au pyroxène. Cette déstabilisation du pyroxène s'accompagne de nombreuses exsudations de gouttelettes de quartz et d'albite. La mobilité de Fe, Si et Al vers la périphérie du cristal conduit à la croissance d'actinote. De nombreuses biotites, apatites prismatiques et petits sphènes automorphes sont englobés dans cette nouvelle couronne.

Le feldspath potassique (95% or)* cristallise le plus souvent en plages pluricentimétriques perthitiques et très poéclitiques (biotite, amphibole, apatites prismatiques, apatite aciculaire, sphène...) présentant fréquemment le moirage du microcline. A son contact, le plagioclase oligoclase développe quelques bourgeons myrmékitiques.

L'albite forme parfois une carène autour de quelques biotites ou plagioclase. Le quartz est tardif. Son extinction est irrégulière.

Remarques

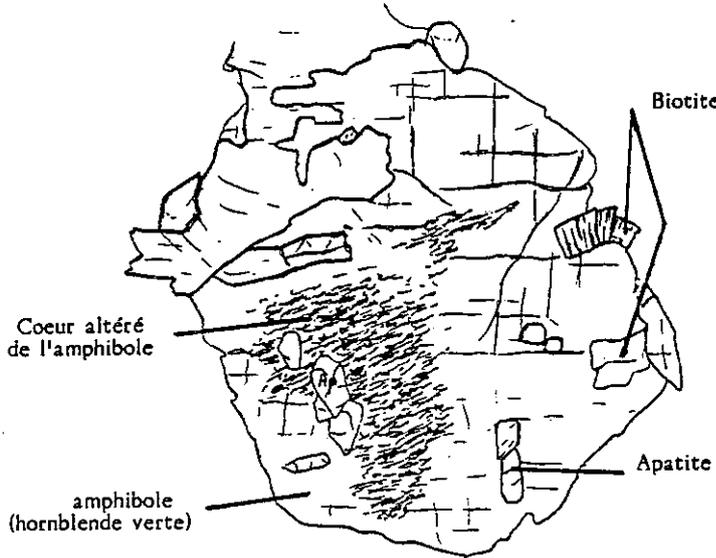
Le schéma de cristallisation de la syénite à feldspath blastique est très semblable à celui défini pour le facies porphyroïde . Cependant, on peut noter l'appauvrissement relatif en minéraux de première génération (olivine, pyroxène, apatite trapue, zircon,...) au profit de la seconde (biotite, amphibole, apatite prismatique, sphène...) et surtout de la troisième (feldspath potassique , apatite aciculaire, quartz, albite...)

* : analyse chimique

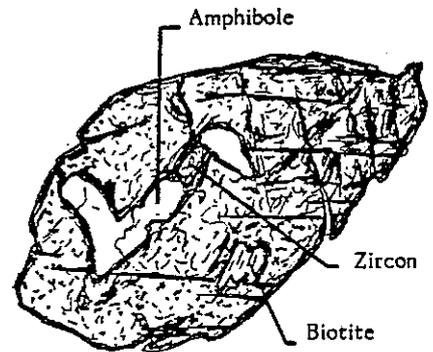
Figure 37

: Aspect de quelques minéraux de la syénite à feldspath blastique.
Cascade du Lauvitel et Bellecote (Rochail).

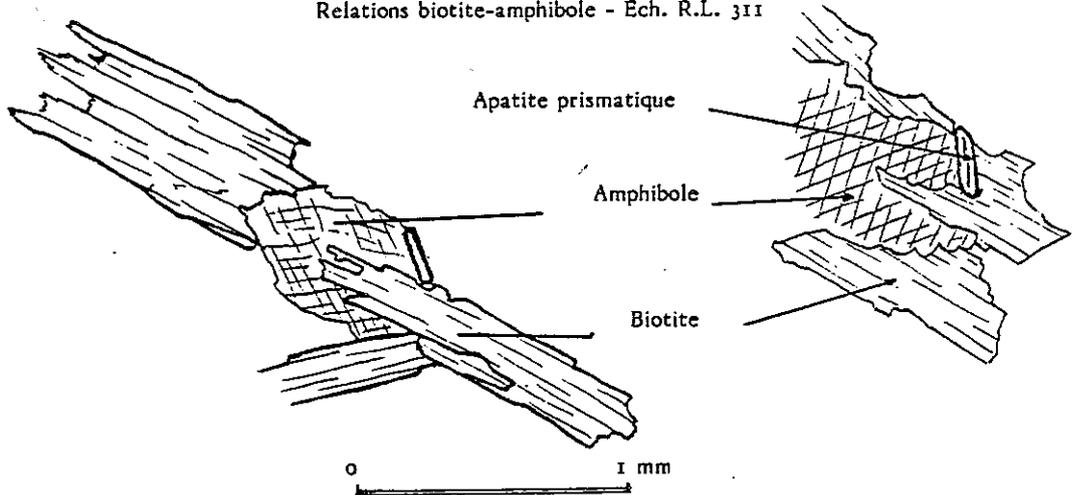
Amphibole présentant les traces de clivages suborthogonaux
du pyroxène préexistant - Ech. R.L. 311.



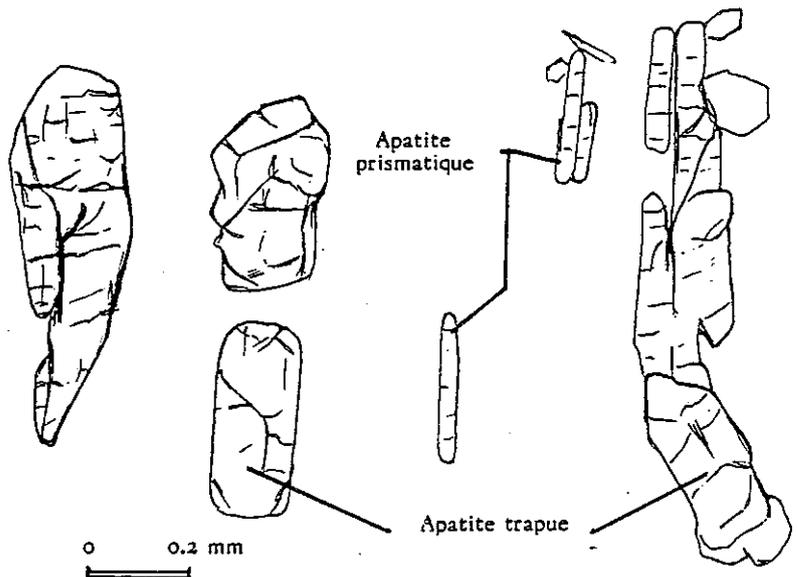
Sphène poécilitique (biotite, zircon, amphibole)
subautomorphe - Ech. R.L. 103.



Relations biotite-amphibole - Ech. R.L. 311



Aspect de quelques individus
d'apatite - Ech. R.L. 311



D'autre part, la blastèse du feldspath potassique en grandes plages pluricentimétriques est une donnée constante des gisements de Bellecote et du Lauvitel et n'est donc pas accidentelle. Il est intéressant de noter ici que, macroscopiquement, les plages claires fusiformes et renflées dues à ces blastèses possèdent toutes un grand axe sensiblement Est-Ouest. La cristallisation du feldspath alcalin a donc pu se faire sous des contraintes anisotropes pouvant peut-être expliquer également le moirage du microcline des individus de feldspath potassique ou être les témoins privilégiés des déformations postérieures.

V-3.4. La syénite grenue homogène ou facies syénitique de contact (Fig.39)

Ech. RL 105 Cascade du Lauvitel

Le facies syénitique de bordure constitue une bande de 0.1 à 1m d'épaisseur, jalonnant les contacts sub-horizontaux avec le facies monzosyénitique ou plus rarement le granite encaissant. La présence de ce facies de bordure a été notée sur les gisements de Bellecote et du Lauvitel.

Texture

Le facies syénitique de bordure mime la texture ophitique des diabases. C'est une roche grenue à grain moyen à fin et équante. Le passage depuis la syénite à feldspath blastique est progressif (10 cm).

Minéralogie

Les teneurs et la nature des minéraux constituant ce facies de bordure sont identiques à celles du facies syénitique à feldspath blastique décrit précédemment.

- Quartz tardif	3%
- Feldspath potassique (89-94% or)*	30-40%
- Albite tardive	< 3%
- Plagioclase (Oligoclase ?)	tr.
- Biotite phlogopitique (Mg)Mg+Fe = 0.63 à 0.66)	20-25%
- Actinote	35-40%
- Sphène	3%
- Apatite trapue (150-200 μ)	tr.
- Apatite prismatique (20-50 μ)	1-3%
- Apatite aciculaire (5-10 μ)	tr.
- Zircon	tr.
- Oxydes de fer (hématite)	tr.

L'originalité de ce facies est l'aspect en "dentelle" qu'y prend l'actinote. Cette amphibole, dépourvue de tout résidu pyroxénique, croît en plages xénomorphes à bords méandriques moulant de petits cristaux sub-rectangulaires (0.5mm) de feldspath potassique (89-94% or)*. A ceux-ci s'ajoutent les inclusions de biotite phlogopitiques, apatite prismatique, sphène.

* : analyse chimique

Figure n° 38

Monzosyérite du Lauvitel
Ech. R.L. 126
Cascade du Lauvitel
(Rochail).

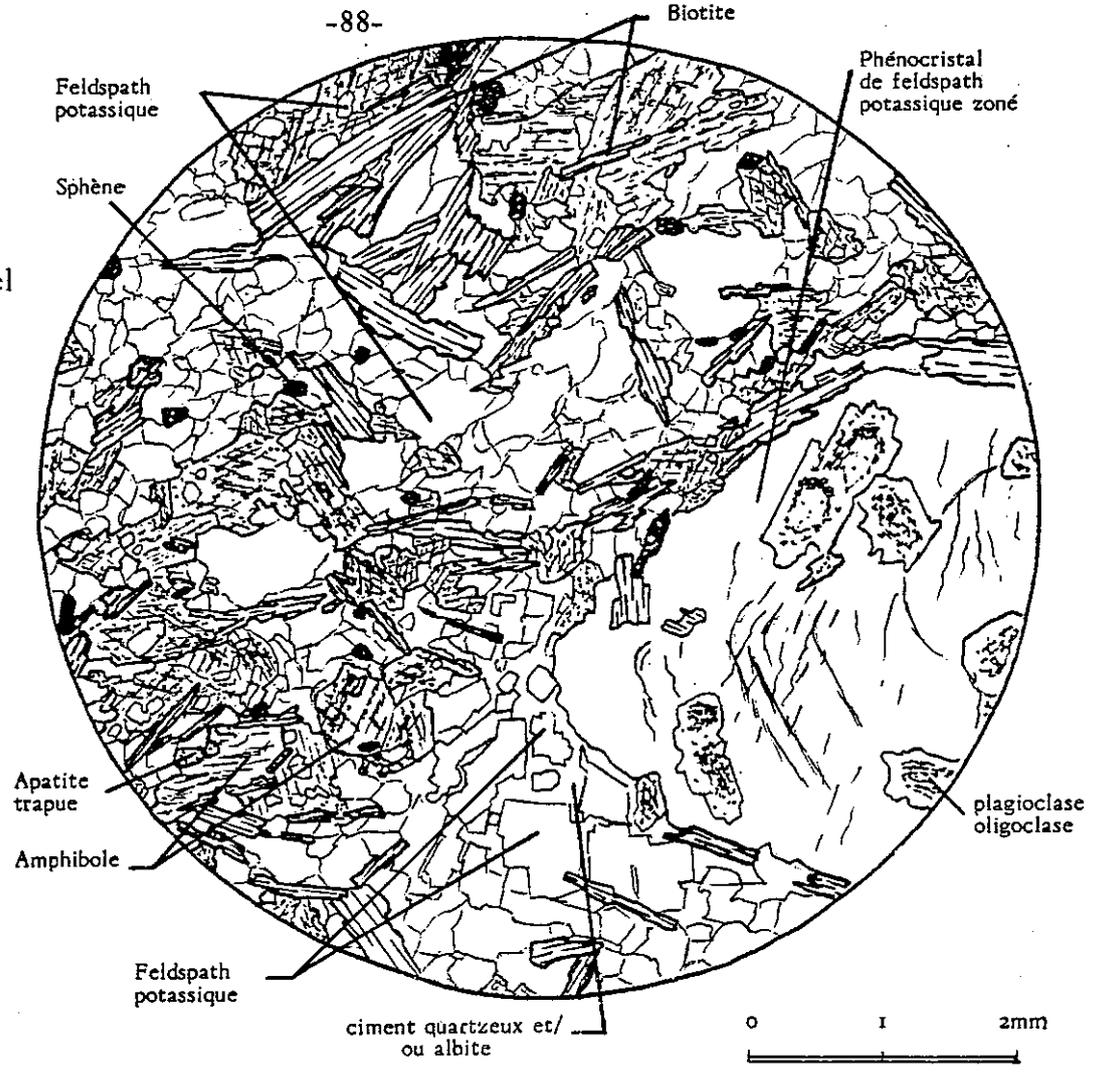
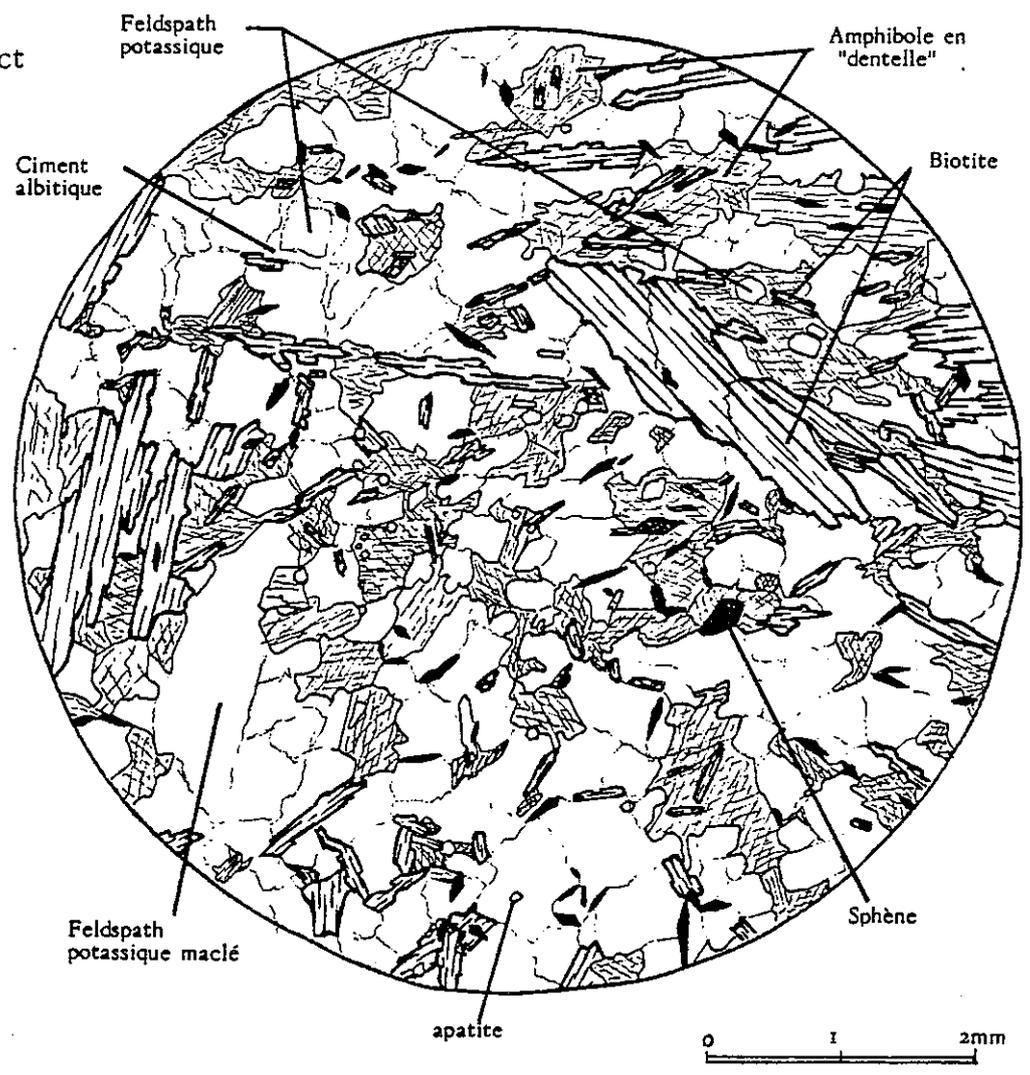


Figure n° 39

Facies syénitique de contact
Ech. R.L. 105
Cascade du Lauvitel
(Rochail).



La biotite phlogopitique est le plus souvent en petites lattes déchiquetées millimétriques et inclut le sphène (0.2 mm) automorphe. L'albite est abondante et tardive.

Schéma de cristallisation

- Plagioclase	— — —
- Apatite trapue	— — —
- Biotite phlogopitique	— — — — —
- Apatite prismatique	— — — — —
- Sphène	— — —
- Apatite aciculaire	— — — — —
- Feldspath potassique	— — — — —
- Actinote	— — — — —
- Albite	— — — — —
- Quartz	— — — — —

Remarques

L'absence presque totale de minéraux de la paragenèse précoce (olivine, pyroxène, apatite trapue...) et la cristallisation tardive de l'actinote par rapport au feldspath potassique confirment la recristallisation de ce facies de contact. Les conditions de cette recristallisation correspondent au champ de stabilité de l'actinote.

V-3.5. La monzosyérite porphyroïde (Fig. 38)

Ech. RL 122 - RL 126 : Cascade du Lauvitel

Ce facies basique affleure au contact du granite du Rochail s.s dans les gisements de Bellecote et de la Cascade du Lauvitel (Fig. 14 et 6).

Texture

Le facies monzosyéritique porphyroïde possède une texture grenue porphyroïde orientée. Son grain est millimétrique. Les phénocristaux centimétriques automorphes d'orthose, caractéristiques de ce facies, s'orientent dans la foliation également soulignée par la biotite. Cette foliation s'interrompt au contact avec le granite encaissant. Quelques enclaves mélanocrates fusiformes (10-15 cm) s'étirent dans la foliation du facies monzosyéritique porphyroïde. Le matériel de ces enclaves possède une texture semblable à celle du facies syénitique de bordure (Ech. RL 105).

Minéralogie

- Quartz tardif	≤ 5%
- Feldspath potassique automorphe perthitique (95-97% or) *	15-20%
- Feldspath potassique xénomorphe ou sub- rectangulaires (90-92% or) *	25-30%
- Albite tardive	tr.
- Plagioclase Oligoclase (zonation inverse)	< 3%
- Biotite (Mg/Mg + Fe = 0.63-0.60)	15-20%
- Hornblende actinolitique à actinote	20-25%
- Oxydes de fer (hématite)	tr.
- Apatite prismatique (20-50 μ)	1-3%
- Apatite aciculaire (5-10 μ)	tr.
- Sphène	1-3%
- Zircon	tr.
- Minéraux d'altération (calcite, chlorite, séricite)	tr.

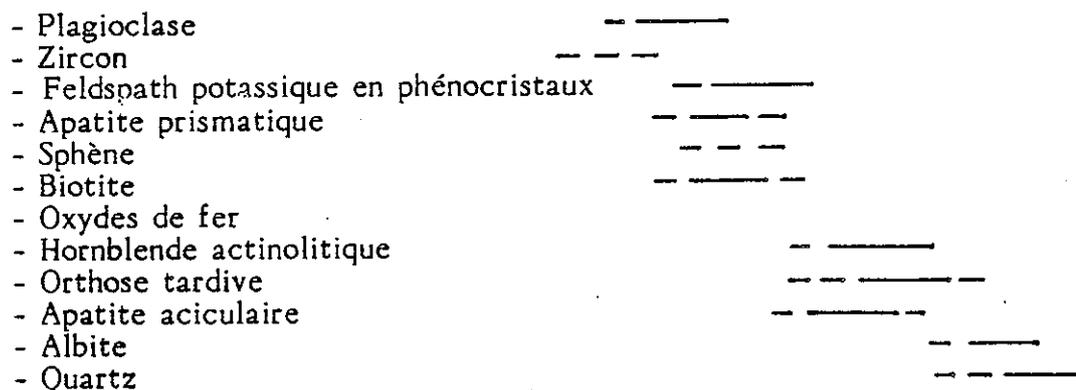
Le plagioclase n'est plus observable qu'en inclusions épitaxiques dans les phénocristaux de feldspath potassique. C'est un oligoclase séricitisé principalement au coeur.

Les phénocristaux de feldspath potassique centimétriques possèdent une légère zonation oscillatoire. Leur cristallisation est postérieure au plagioclase et synchrone de la biotite. Biotite, apatite prismatique, sphène sont inclus dans les couronnes externes de ce feldspath potassique.

La hornblende actinolitique est subautomorphe à xénomorphe et poécilitique (apatite prismatique, sphène, biotite, feldspath potassique tardif). Cette amphibole localement en "dentelle" est semblable morphologiquement et chimiquement à celle du facies syénitique de contact (Ech. RL105).

La cristallisation pro parte de feldspath potassique tardif, puis de l'albite et du quartz est syn-déformation. Ces minéraux germent en particulier dans les zones d'ombres de pression des phénocristaux de feldspath potassique.

Schéma de cristallisation



* : analyse chimique

Les minéraux de la paragenèse précoce définie dans le facies syénitique porphyroïde ont disparu pour la plupart hormis le zircon ou ont subi une recristallisation (sphène) et/ou un rééquilibrage important (plagioclase).

Remarques

La cristallisation simultanée de l'amphibole et de l'orthose tardive est symptomatique d'une recristallisation du matériel basique semblable à celle du facies syénitique de bordure.

Cette recristallisation s'est faite sous contraintes (ombres de pression) dans les domaines de stabilité de la hornblende actinolitique et du feldspath potassique.

Ces déformations pourraient être tardi-hercyniennes et correspondre à la mise en place du granite du Rochail et de ses enclaves (327 Ma, Bonhomme et al., 1963).

V-3.6. La monzosyénite des Sources

Ech RL. 206 : Refuge des Sources

L'échantillon décrit ci-après provient d'une des nombreuses enclaves décimétriques en bordure d'un des gisements en essaim du refuge des Sources (Fig. 20).

Le contact entre la monzosyénite et le granite du Clapier encaissant est progressive à l'échelle centimétrique.

Texture

La monzosyénite du Refuge des Sources est grenue, généralement équante et d'aspect dioritique. L'orientation très fruste des lattes millimétriques de biotite parallèlement au contact est un phénomène limité à la bordure de quelques enclaves ovoïdes.

La monzosyénite a une tendance leucocrate.

Minéralogie

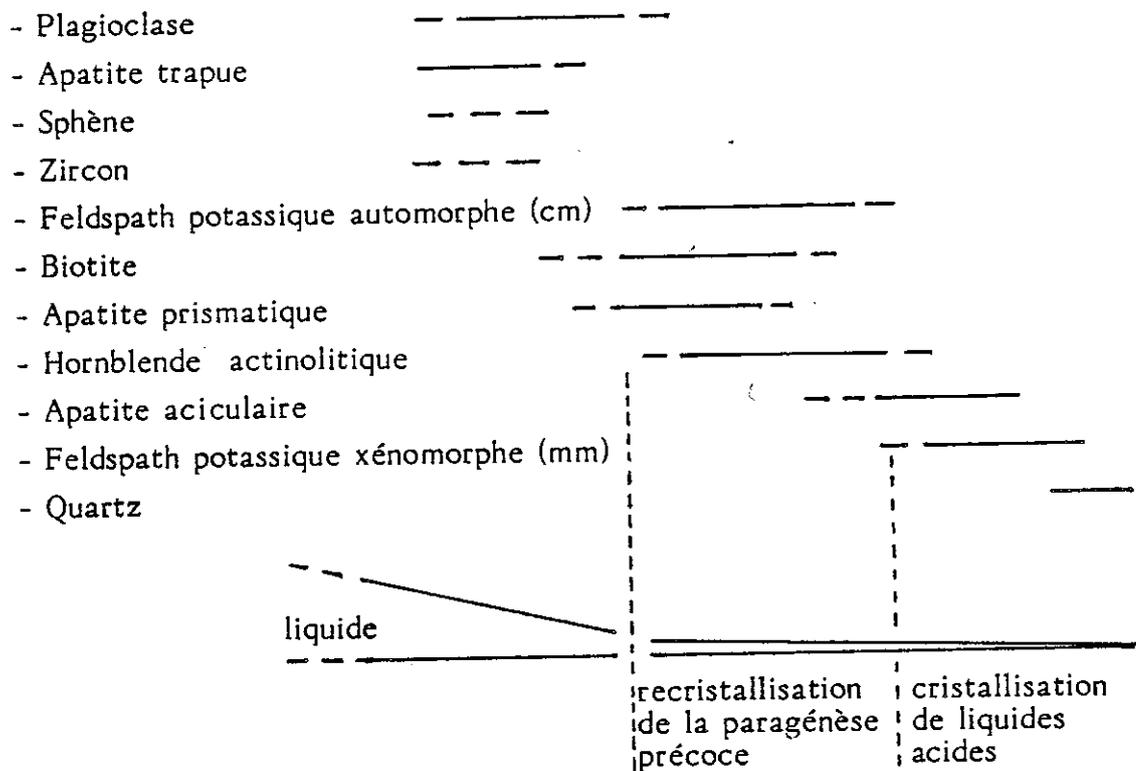
- Quartz tardif	3-5%
- Feldspath potassique automorphe (centimétrique.)	} 35-40%
(90% or) *	
- Feldspath potassique xénomorphe (millimétrique)	}
(87-90% or) *	
- Plagioclase oligoclase	30-35%
- Biotite (Mg/Mg + Fe = 0.59 - 0.60)	10-15%
- Hornblende actinolitique	10-15%
- Sphène	1%
- Apatite trapue (150-200 μ)	tr.
- Apatite prismatique (20-50 μ)	< 1%
- Apatite aciculaire	tr.
- Zircon	tr.

* : analyse chimique

Parmi les minéraux de la paragenèse précoce, seuls le plagioclase postérieurement rééquilibré (oligoclase), l'apatite trapue et le zircon sont visibles.

- les teneurs en feldspath (potassique et plagioclase) sont très importantes (60-70%) par rapport au facies syénitique porphyroïde servant de référence (20-25%).
- quelques rares phénocristaux de feldspath potassique (cm) perthitiques englobent le plagioclase et la biotite sur leur bordure.
- l'altération du sphène et des minéraux ferromagnésiens est importante. La biotite est déformée par la chlorite et le feldspath alcalin qui croissent dans ses clivages. L'amphibole inclut l'apatite prismatique et le sphène. Elle subit une altération partielle en chlorite + calcite +/- épidote qui se propage le long de ses clivages.

Schéma de cristallisation



Remarques

La monzosyénite du Refuge des Sources possède de nombreux traits communs avec la monzosyénite porphyroïde du Lauvitel (phénocristaux de feldspath potassique, teneurs en feldspath).

Cependant, la biotite ($Mg/Mg+Fe = 0.60$) est légèrement moins magnésienne et se rapproche des rapports observés dans le granite du Clapier encaissant ($Mg/Mg+Fe = 0.55$ à 0.58). Le plagioclase est très abondant au Refuge des Sources. Le feldspath potassique automorphe est semblable à celui du granite encaissant. L'altération des minéraux ferromagnésiens est importante mais plus modérée que celle de la biotite et de l'amphibole du granite du Clapier. Toutes ces remarques sont autant d'indices de la contamination du matériel basique originel par le granite encaissant.

V - 4. Conclusion à l'étude de la pétrographie du Rochail

De la pétrographie des facies Rochail s.s. et Clapier du granite du massif du Rochail peut être déduit un schéma général de cristallisation, bien que certains indices (quartz automorphes) semblent suggérer une histoire précoce plus complexe.

La cristallisation du matériel basique s'est effectuée en trois étapes :

- première paragénèse, précoce et profonde : olivine (?) et clinopyroxène + apatite trapue + zircon + magnétite (?) + sphène (?) +/- plagioclase basique. C'est un matériel à tendance ultra-basique.

En fin de cristallisation de cette paragénèse, le matériel basique est largement figé.

- deuxième paragénèse, de remplacement: actinote/hornblende + biotite phlogopitique/biotite + apatite prismatique + sphène + oxydes opaques + oligoclase). Cette paragénèse de pression et température plus faibles se substitue partiellement à la précédente, instable dans un milieu devenant progressivement plus acide et hydraté.

La composition des phlogopites du matériel basique tend vers celle des biotites du granite encaissant au fur et à mesure que la proportion relative de la troisième paragénèse (tardive et alcaline) s'accroît. Il y a échelonnement du facies : le plus basique au plus acide :

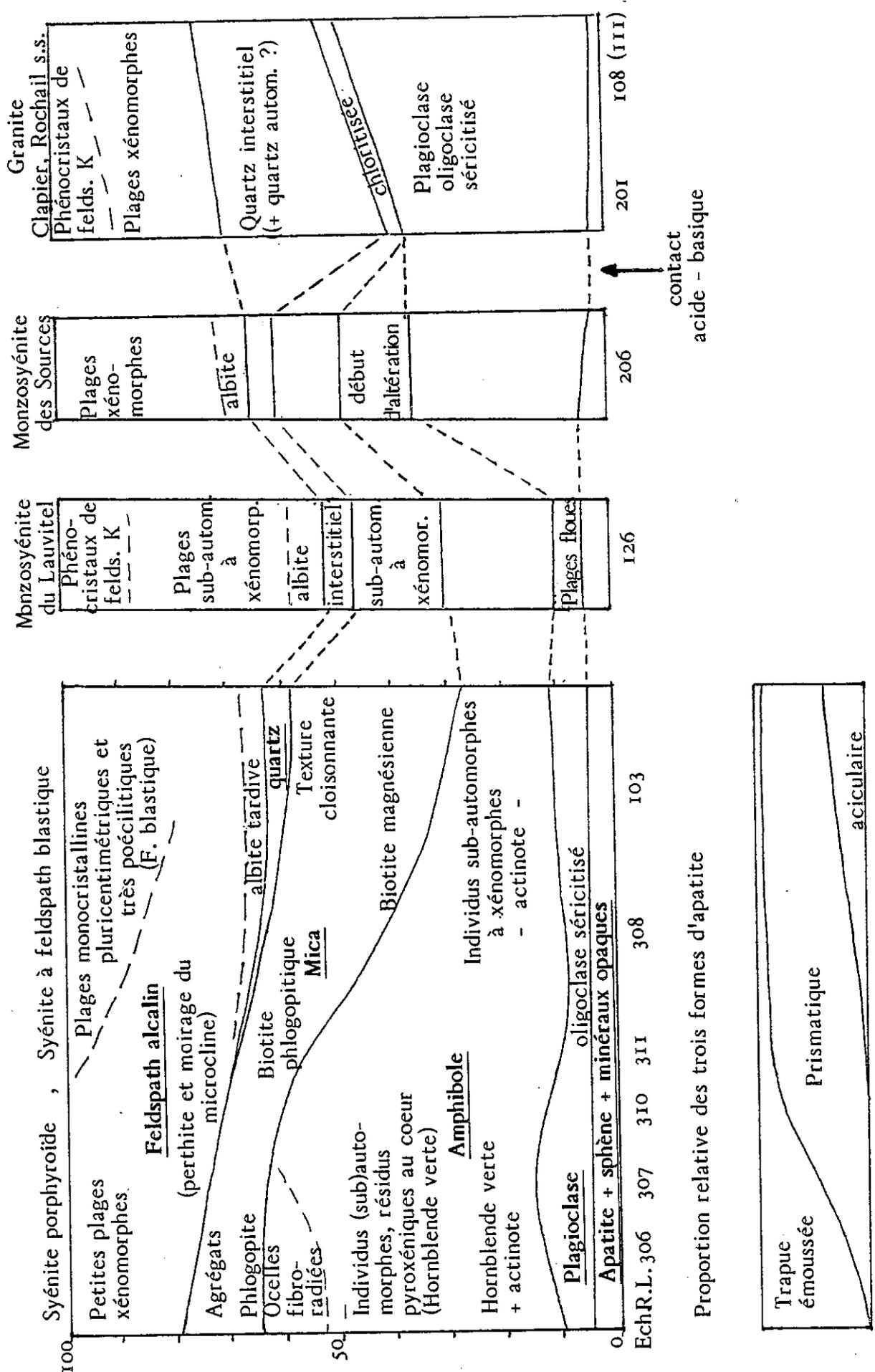
syénite porphyroïde ($Mg^* = 0.69 - 0.66$) ; syénite de Feldspath potassique blastique ($0.66 - 0.63$) ; syénite de contact ($0.66 - 0.63$) ; monzosyénite porphyroïde (0.63) ; monzosyénite des Sources ($0.59 - 0.60$) granite du Clapier ($0.55 - 0.57$) ; granite du Rochail s.s. (0.46 chloritisée)

- troisième paragénèse tardive et alcaline : feldspath potassique dominant, apatite aciculaire, quartz. Les liquides silicatés qui pourraient être issus du granite encaissant et percolant dans le matériel basique se figent les derniers.

La recristallisation partielle des facies syénitique de contact (Ech. RL 105) et monzosyénitique porphyroïde a lieu dans les conditions de stabilité de l'actinote et du feldspath potassique. Elle est sans doute étroitement liée à la phase finale de mise en place du batholite du Rochail (327 Ma).

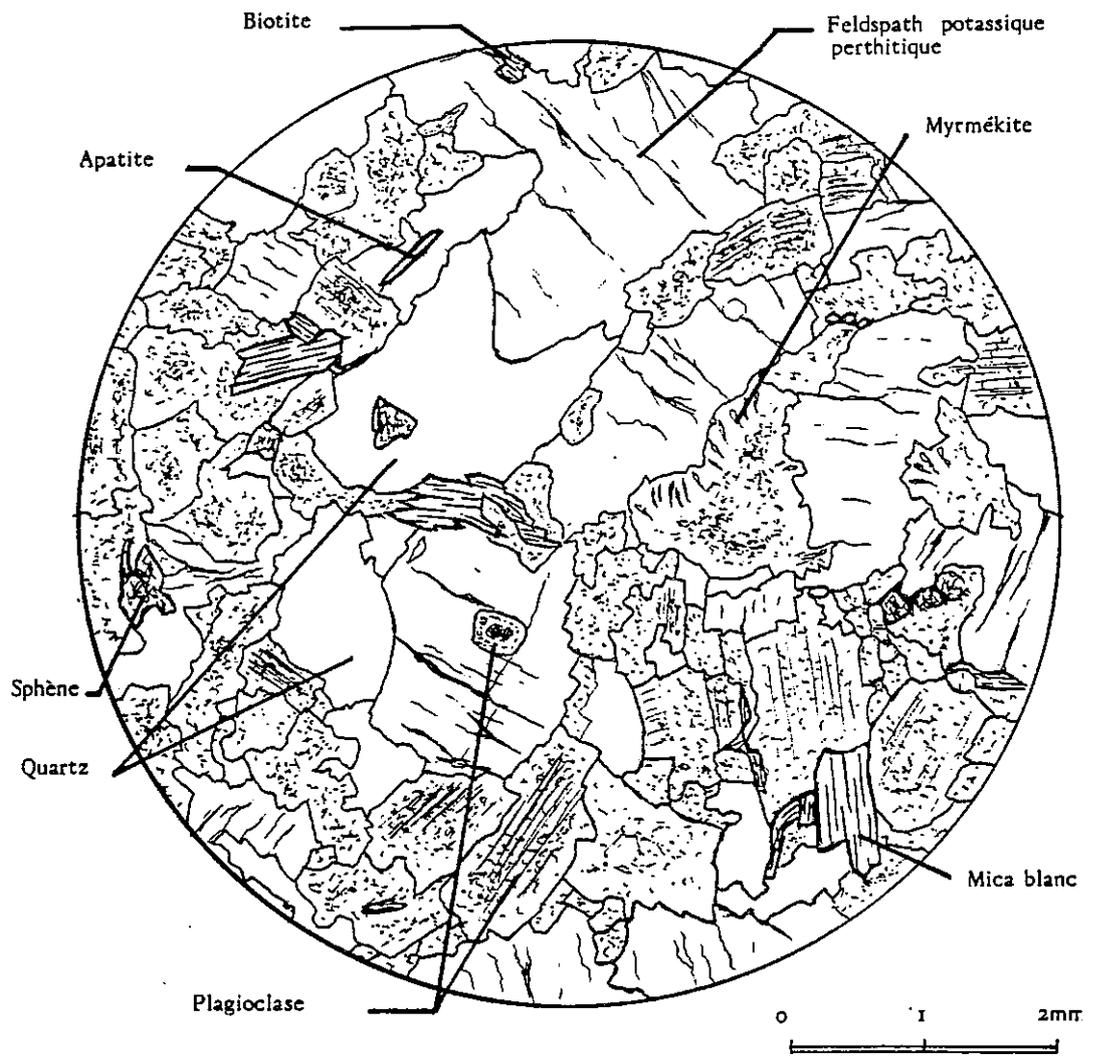
Les contraintes sont anisotropes : facies monzosyénitique porphyroïde orienté, ombres de pression, plages claires fusiformes de feldspath blastiques orientées.

Tableau synthétique des variations minéralogiques des enclaves syénitiques et du granite du Rochail.



La pétrographie du matériel basique du Rochail indique une part croissante de la paragégnèse alcaline (granitisation ?) depuis le faciès syénitique porphyroïde au cœur du gisement de Bellecote jusqu'au faciès monzosyénitique des Sources enclavé dans le granite du Clapier.

Figure n° 41 : Granite à deux micas du Péou de St Maurice.
Ech. GM 113.



V - 5. Grandes Rousses - Le granite de Roche Noire

V-5.1. Généralités

Le granite de Roche Noire et les gneiss porphyroïdes de l'Alpetta qu'il recoupe, constituent une partie du flanc occidental du massif des Grandes Rousses.

Le granite de Roche Noire affleure en une bande méridienne étroite (0.3 x 10 km) disparaissant cartographiquement à deux km au N.E. de l'Alpe d'Huez.

Sur le plateau des Lacs Noir et Besson, au Nord de l'Alpe d'Huez, le matériel syénitique est encaissé dans le granite de Roche Noire de part et d'autre de l'émissaire du Lac Noir. L'affleurement est d'extension kilométrique du Nord au Sud. Les contacts acide-basique sont progressifs et jalonnés par un faciès intermédiaire.

V-5.2. Le granite de Roche Noire

Texture

C'est un granite hololeucocrate à grain moyen et parfois à tendance porphyroïde (feldspath alcalin), cataclastique. Il est rose à verdâtre. La biotite est rare et chloritisée. Quartz et feldspath forment localement des amygdales étirées dans la foliation fruste du granite.

Minéralogie

- Quartz tardif
- Feldspath potassique perthitique avec moirage du microcline.
- Plagioclase oligoclase
- Biotite chloritisée
- Sphène
- Paragénèse d'altération (quartz, albite, épidote, séricite)

V-5.3. La syénite de Roche Noire (Fig. 26 page 54).

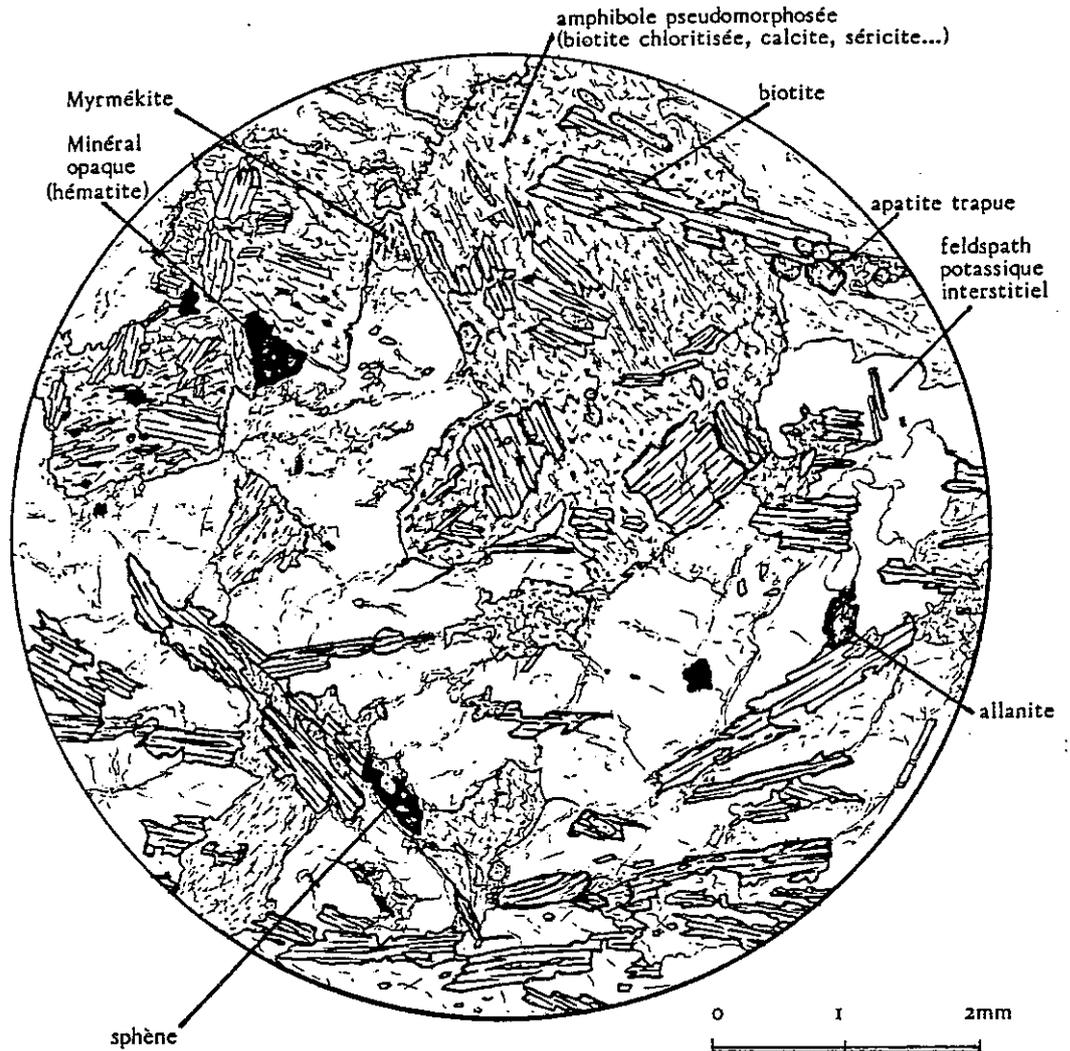
La syénite de Roche Noire est sombre, mésocrate, grenue, équante et riche en biotite demi-centimétrique lui conférant une texture cloisonnée. A proximité du granite de Roche Noire encaissant, la roche adopte une tendance monzosyénitique. L'altération est importante.

Minéralogie

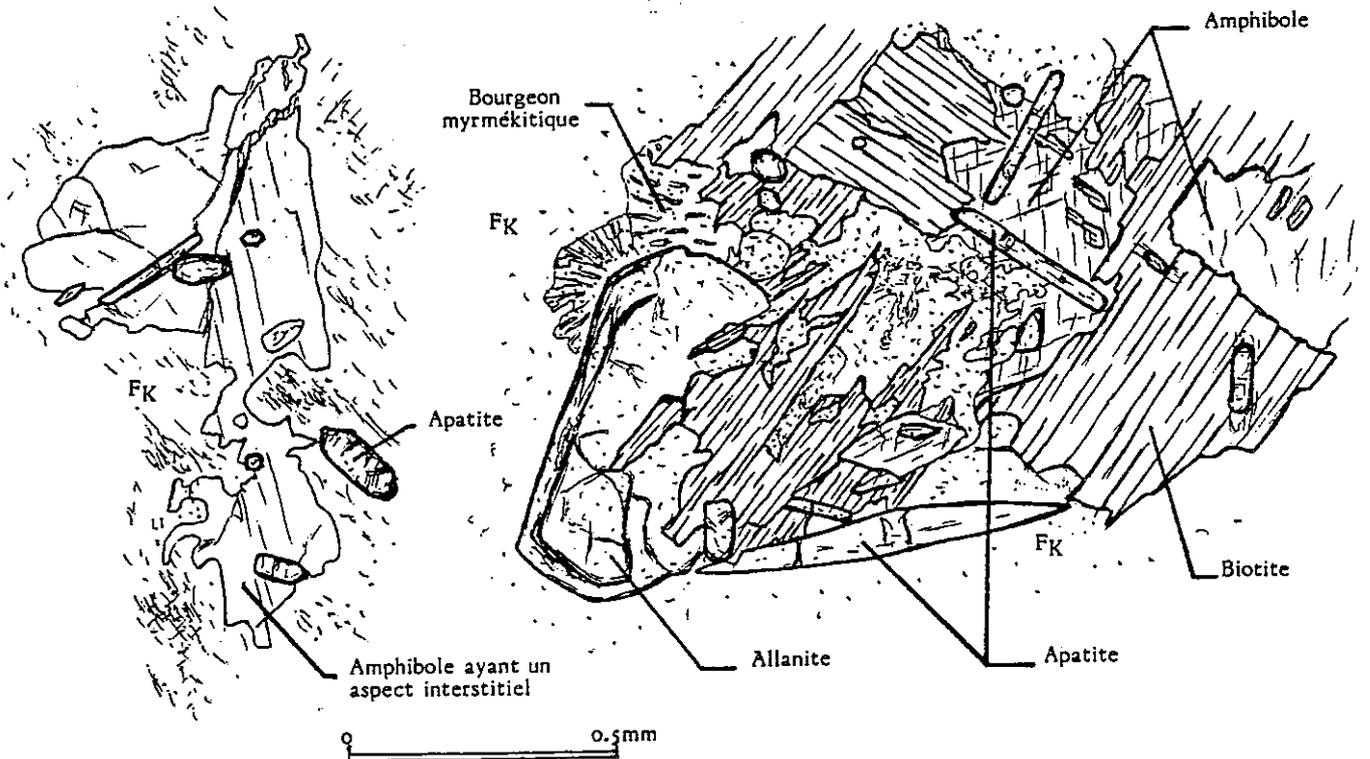
- Quartz tardif engrené
- Feldspath potassique xénomorphe perthitique poécilitique (biotite, plagioclase)
- Plagioclase oligoclase +/- zoné. Altération (séricite, albite +/- calcite)

Figure n° 42

Syénite du Lauvet :
Ech. GM 104
Péou de St Maurice.



Détail de l'agencement des minéraux de la syénite
du Lauvet (Péou de St Maurice). Ech. GM 103



- Biotite flexueuse partiellement chloritisée. Altération : chlorite + oxyde de fer + rutile.
- Sphène avec inclusion d'apatite. Rétromorphosé (calcite + épidote + oxydes opaques)
- Apatite prismatique (20-50 μ)
- Apatite aciculaire (5-10 μ)
- Zircon zoné et automorphe

Le facies monzosyénitique intermédiaire (Ech. GR 186) est légèrement plus feldspathique et quartzeux. L'altération est plus prononcée. On peut noter la présence de rares phénocristaux ovoïdes centimétriques et parfois maclés Carlsbad. Le plagioclase y est en inclusion épitaxique.

V - 6. Le granite du Péou de St Maurice

Il est intrusif dans des séries migmatitiques de la bordure occidentale du Haut Dauphiné et affleure sur environ 6 km² au Sud du hameau des Faures en Valjouffrey.

Plusieurs gisements de matériel basique ont été notés sur le versant oriental du Vallon de Malentraz, et en particulier un gisement en essaim dans Vallon Cros (Pécher, 1986).

Deux autres gisements ont fait l'objet d'un échantillonnage :

- le gisement du Lauvet : il affleure en pied de falaise, au sommet de la combe du Lauvet à Malentraz milieu.
Les contacts acide basique sont nets et parfois repris par des accidents. L'affleurement et son encaissement sont recoupés par un filon (20-30 cm) de lamprophyre.
- le gisement des Ballets : situé 200 m plus au Nord dans un couloir de déformation Nord-Sud, cet affleurement offre toutefois la particularité de posséder un facies monzosyénitique jalonnant le contact acide basique.

V-6.1. Le granite du Péou (Ech. GM 100-GM113) Fig. 41

C'est un granite hololeucocrate à deux micas. Il est grenu équant et cataclastique et prend une teinte légèrement verdâtre à proximité des contacts acide basique.

Minéralogie

- | | |
|--|--------|
| - Quartz tardif fissuré | 15-20% |
| - Feldspath potassique (moirage du microcline)
très rarement sub-automorphe
inclusion : plagioclase en croissance épitaxique au centre
apatite aciculaire, biotite chloritisée en bordure | 25-30% |
| - Plagioclase souvent idiomorphe mais séricitisé | 40-45% |
| - Biotite déchiquetée et chloritisée (+ oxydes) | < 5% |
| - Apatite aciculaire et plus rarement prismatique | < 1% |

V-6.2. La syénite du Lauvet (Ech. GM 104)

Elle est mésocrate grenue souvent orientée (biotite) et à tendance porphyroïde. La biotite en lame de couteau (0.5-1 cm) confère à la roche une structure cloisonnée.

Minéralogie

- Quartz tardif. Inclusion : apatite, biotite, extinction roulante faible 5-10%
- Feldspath potassique xénomorphe poécilitique (88-96%or) * 45-50%
(plagioclase, biotite, amphibole, apatite, sphène, zircon)
moirage du microcline fréquent
- Plagioclase (An 26,40) altéré . Inclusions : sphène, apatite. 5-10%
- Biotite en lames de couteau orientées, souvent déchiquetées et/ou flexueuses. 15-20%
Altération : chlorite, oxydes opaques, hématites, calcite et feldspath dans les clivages. Epitaxie de rutile sur les faces (001)
- La biotite secondaire épigénise l'amphibole
- hornblende actinolitique à actinote : automorphe (1 à 3mm) à xénomorphe. 10-15%
inclusions : biotite, apatite prismatique, sphène
altération : chlorite - biotite, calcite, séricite...
- Apatite prismatique (20-50 μ) associée aux minéraux ferromagnésiens 2-3%
- Apatite aciculaire (5-10 μ) incluse dans le feldspath potassique
- Sphène rarement automorphe incluant l'apatite < 1%
- Zircon automorphe et limpide. tr.

V-6.3. La syénite des Ballets (Ech. GM 109)

Elle est mélanocrate et très riche en biotite
Microscopiquement, trois espèces minérales sont représentées:

- la biotite est déchiquetée, partiellement chloritisée et très flexueuse. 70-80%
- l'amphibole xénomorphe a recristallisé en plages peu ou pas déformées. 20-30%
- l'apatite trapue est émoussée (150-200 μ) tr.

Les minéraux clairs (quartz, feldspath) sont absents.

* : analyse chimique

V-6.4.. La monzosyénite des Ballets (Ech. GM III)

Elle est à grain moyen et d'aspect dioritique. la biotite souligne son orientation

Minéralogie

- Quartz tardif	5-10%
- Feldspath potassique xénomorphe, poécilitique (plagioclase, biotite, amphibole, sphène, apatites trapue et prismatique) perthitique .	35-40%
- Plagioclase sub-automorphe et zoné. Bourgeons myrmékistiques au contact du feldspath potassique	5-10%
- Biotite flexueuse et partiellement chloritisée	25-30%
- Amphibole xénomorphe	15-20%
- Apatite prismatique associée à la biotite et à l'amphibole	tr.
- Apatite trapue	tr.
- Allanite automorphe métamicte au coeur	tr.
- Sphène xénomorphe	< 1%

SIXIEME CHAPITRE

MINERALOGIE

VI - 1. La biotite

VI - 2. L'amphibole

VI - 3. Le feldspath alcalin

VI - 4. Le feldspath plagioclase

VI - 5. Les minéraux accessoires

VI-5.1. L'apatite

VI-5.2. Le sphène

MINERALOGIE

Trois paragénèses successives ont été déduites de l'observation pétrographique des syénites du Rochail. Chacune de ces associations correspond à un état d'équilibre différent dont les conditions physico-chimiques conditionnent la cristallisation des minéraux.

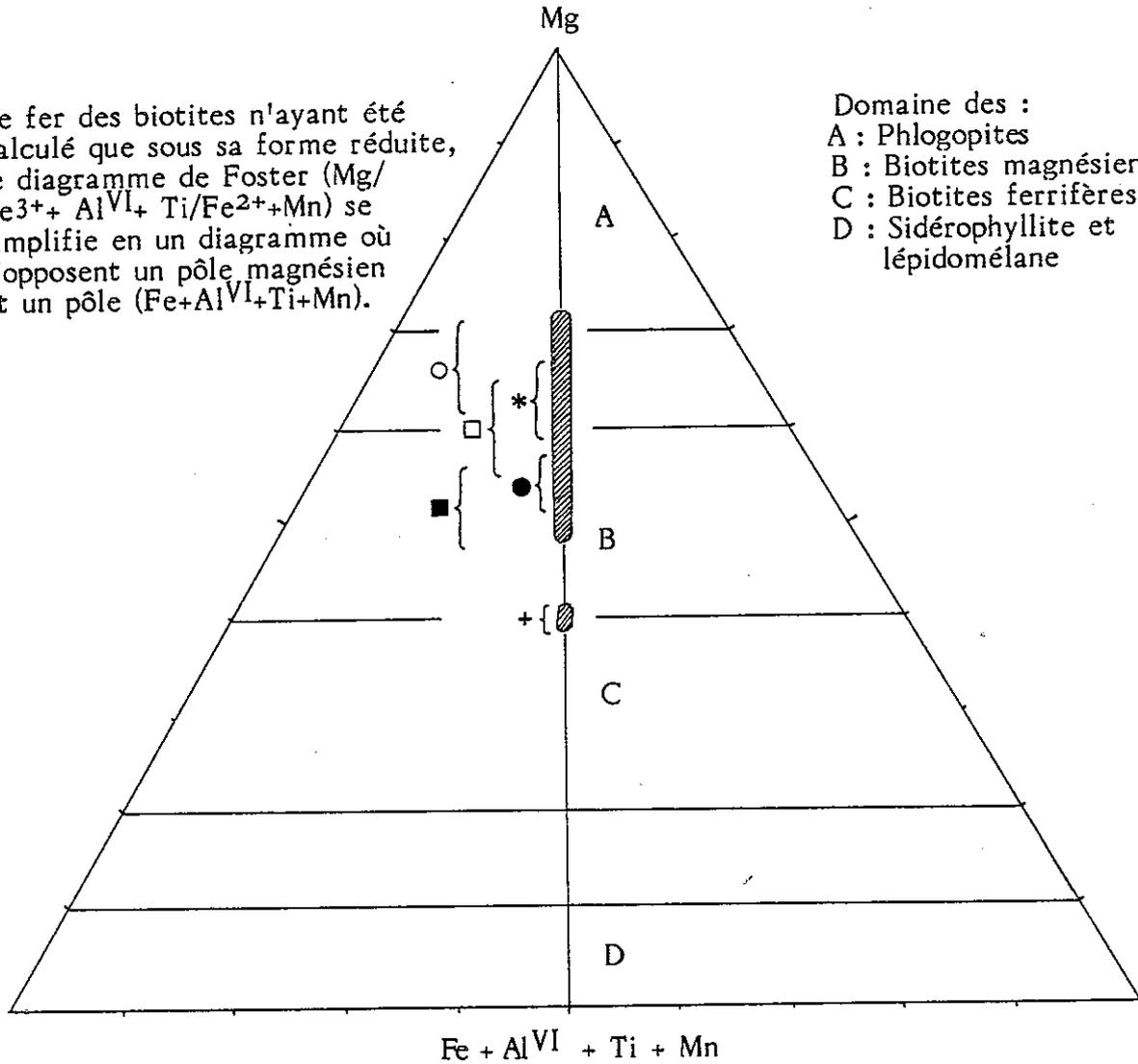
Les analyses des principaux minéraux (biotite, amphibole, feldspath potassique et plagioclase, sphène) des différents facies basiques du Rochail ont été obtenues sur microsonde électronique automatique CAMEBAX (15Kv) à l'Université de Montpellier et celle de Clermont Ferrand. Y ont été jointes quelques analyses d'apatite et de sphène effectuées par R.A.Oliver (I.L.L. Grenoble) sur la microsonde de l'Open University (U.K.).

Pour comparaison, les analyses de biotite et amphibole des syénites du Lauvet (Péou de St Maurice) et du Jarnalet (St Colomaban) ont également été reportées sur les diagrammes.
Le Fer a été calculé sous sa forme réduite (Fe^{2+}).

Figure n° 43 : Classification chimico-minéralogique des biotites (Foster, 1960)

Le fer des biotites n'ayant été calculé que sous sa forme réduite, le diagramme de Foster (Mg/Fe³⁺+Al^{VI}+Ti/Fe²⁺+Mn) se simplifie en un diagramme où s'opposent un pôle magnésien et un pôle (Fe+Al^{VI}+Ti+Mn).

Domaine des :
 A : Phlogopites
 B : Biotites magnésiennes
 C : Biotites ferrifères
 D : Sidérophyllite et lépidomélane



Légende commune aux figures concernant les biotites et les amphiboles :

Nature de la roche hôte	Nombre Biotite	d'analyses Amphibole	Ech RL
○ : syénite porphyroïde	5	8	306,307,310
□ : syénite à feldspath blastique	19	19	103,308,311
* : syénite de contact	7	9	105
● : monzosyénite du Lauvitel	5	4	122,126
■ : monzosyénite des Sources	10	5	206,214,230,243
+ : granite du Rochail	2	-	101
○ (dashed) : vaugnérite	16	17	Courbe enveloppe des minéraux des vaugnérites du Lyonnais et du Haut Vivarais (Michon, 1979)

VI - 1 La biotite

Elle est omniprésente dans les facies basiques du Rochail et dans l'encaissant granitique.

Les teneurs en micas sont très variables : syénite porphyroïde de Bellecote (5-10%), syénite à feldspath blastique de Bellecote et de la Cascade du Lauvitel (15-30%), les facies monzosyénitiques du Refuge des Sources et de la Cascade du Lauvitel (10-15%). Dans le granite encaissant, facies Rochail s.s ou Clapier, ce pourcentage n'excède pas 5%.

Ce minéral est très symptomatique avec l'amphibole des syénites; c'est pourquoi leur étude minéralogique et chimique est plus complète par rapport aux autres minéraux.

1 - 1. Caractères minéralogiques

L'orientation des micas (1-5mm) apparaît le plus souvent dans les facies les plus monzosyénitiques de Bellecote ou de la Cascade du Lauvitel. Au Refuge des Sources cette orientation est très fruste et se cantonne aux bordures des enclaves.

La biotite est un bon marqueur de déformations comme le note déjà Bellanger (1980) sur les vagnérites du Lyonnais : elle est saine, automorphe et en grandes lattes au coeur des enclaves (Ech. RL 103, RL 310...), petite et brisée dans les facies recristallisés, tordue et partiellement altérée et orientée dans les facies les plus leucocrates (Ech. RL 126, RL 206).

Très saines dans les facies les plus basiques de Bellecote, les lattes de micas présentent une altération croissante vers les facies les plus leucocrates. Cette altération se traduit par une néoformation de fins fuseaux de feldspath alcalin, ce qui est un phénomène classique au cours des phases deutériques (A.C. Moore, 1976). Il y a ensuite chloritisation et exsudation d'oxydes opaques dans les clivages du mica. Cette chloritisation des biotites devient importante dans le granite du massif du Rochail encaissant.

Au contact du feldspath alcalin, la biotite s'entoure parfois d'une fine carène albitique de réaction.

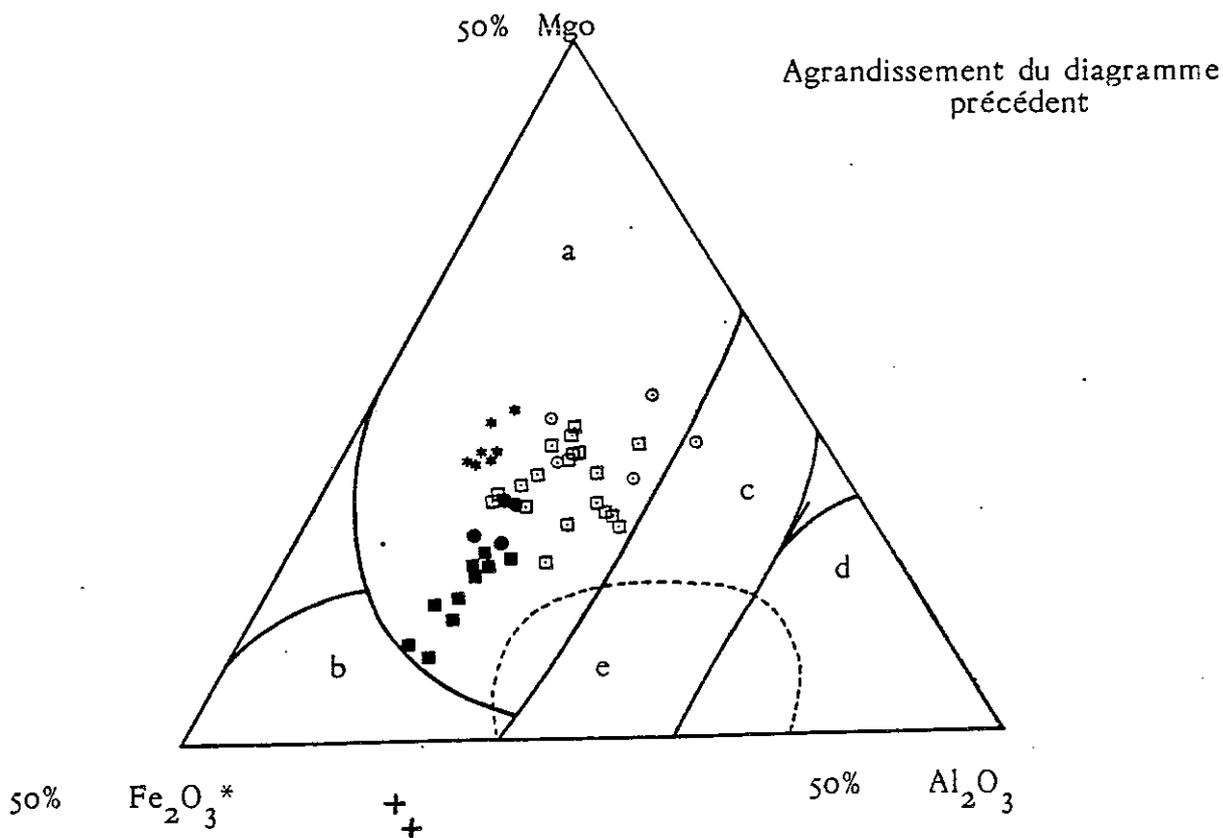
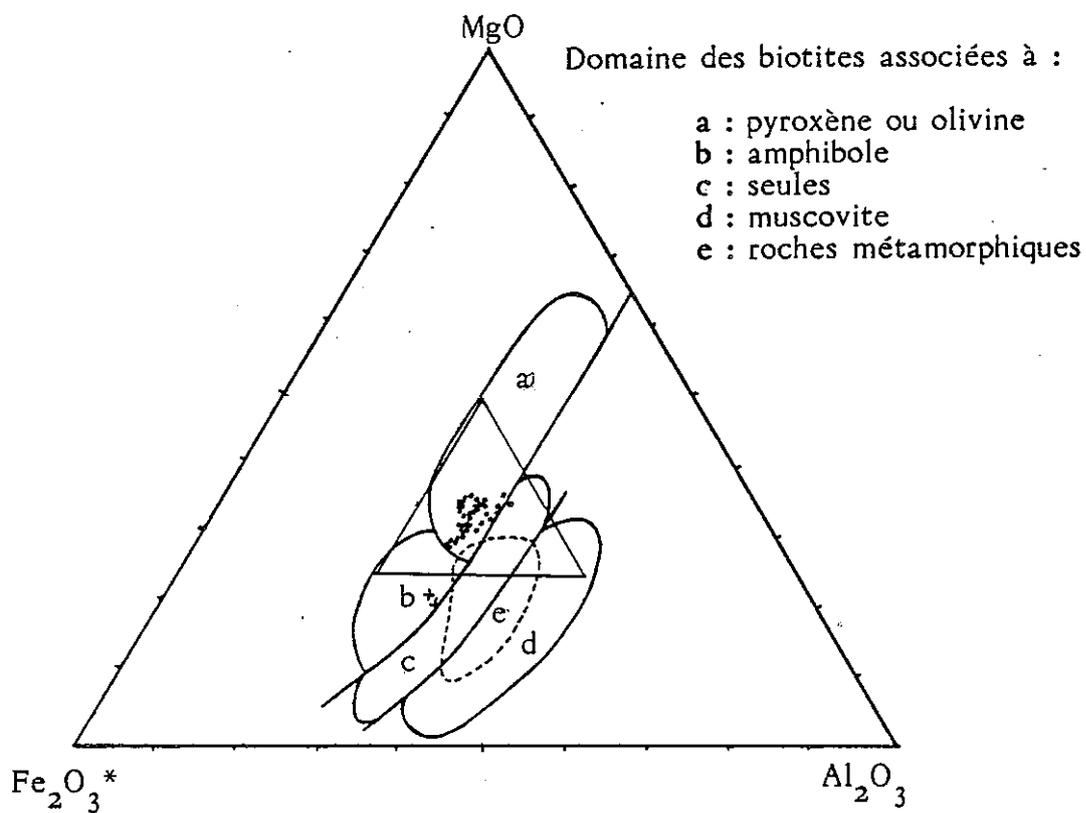
Les inclusions sont peu nombreuses : apatite prismatique, zircon entouré d'une auréole sombre, sphère en très petits individus.

Le mica fait partie de la seconde association minérale (actinote + apatite prismatique + sphère recristallisé + oligoclase + minéraux opaques) se substituant à la paragenèse magmatique antérieure.

1 - 2. Composition chimique (Tableau N° III Page 159).

La composition chimique des micas présente une évolution constante depuis les facies les plus basiques de syénite jusqu'au granite encaissant. Elle se traduit par des variations notables de certains oxydes (SiO_2 , MgO , FeO , Al_2O_3). Les formules structurales des micas ont été calculées sur la base de 22 oxygènes (M.D. Foster, 1960), H_2O étant estimé à 4%.

Figure n° 44 : Relations entre la composition chimique des biotites et leurs associations paragénétiques dans les roches ignées et métamorphiques (Nockolds, 1947, Leterrier, 1972)



Légende page 106

- le site Z tétracoordonné (Si, Al)

Ce site est toujours saturé à huit atomes dont 70% par Si. L'aluminium (90% de Al total) complète le site. Cet aluminium occupe plus de deux tétraèdres (2.12 à 2.46) sur les huit disponibles mais reste toutefois en deça des valeurs obtenues sur les biotites de vaugnérîtes du Massif Central (2.33 à 2.72). Pour Harry (1950) et Butler (1965) la présence de Al^{IV} dans plus de deux sites tétraédriques sur huit est symptomatique d'une cristallisation à température élevée.

Dans le Rochail, le remplissage du site Z par Al^{IV} est plus important pour les biotites du granite (2.34 à 2.41) et de la syénite porphyroïde (2.33 à 2.46).

- le site Y (Al, Fe, Mg, Ti, Mn, Ni, Cr)

Ce site Y contient 5.67 à 5.91 atomes et n'est donc pas saturé. L'occupation de ce site par Fe et Mg montre une évolution depuis le granite encaissant jusqu'aux facies syénitiques les plus basiques :

granite Rochail s.s (46% Fe, 41% Mg), monzosyénite (35% Fe, 55% Mg) ; syénite à feldspath blastique (33% Fe, 57% Mg) ; syénite porphyroïde (28% Fe, 60% Mg).

Facies syénitique de contact, recristallisé (33% Fe, 60% Mg).

Les teneurs en Ti et Al^{VI} demeurent assez constantes (4 à 5% du site Y chacun).

- le site A (Na, Ca, K)

Ce site dont la saturation à deux atomes est presque atteinte (1.85 à 2.00) est rempli à 95% ou plus par le potassium.

Comparée aux biotites des vaugnérîtes du M.C. (1.4 à 1.7), celles des syénites du Rochail s'avèrent nettement plus riches en K (1.77 à 1.98).

D'après Velde (1969), la saturation à deux atomes du site A est rarement atteinte pour les biotites des roches éruptives.

I - 3. Nomenclature (Fig. 43)

Les analyses des micas des syénites et du granite du massif du Rochail ont été reportées dans la classification proposée par Foster (1960). Le Mg est le seul élément discriminant compte tenu de la restitution uniquement sous forme de Fe²⁺ de la totalité du fer analysé par la microsonde électronique.

Les micas du granite relativement pauvres en Mg, appartiennent au domaine des biotites ferrifères. Un petit hiatus les sépare des micas des syénites, plus magnésiens.

Les micas des facies basiques monzosyénitiques des Sources et du Lauvitel sont des biotites magnésiennes. La tendance phlogopitique des biotites des facies syénitiques à feldspaths blastiques s'affirme pour les facies syénitiques porphyroïdes de Bellecote jusqu'à pénétrer dans le champ des phlogopites.

Figure n° 45 : Relations entre l'association paragénétique des biotites et leurs teneurs en alumine et en Al^{IV} (Gagny, 1968)

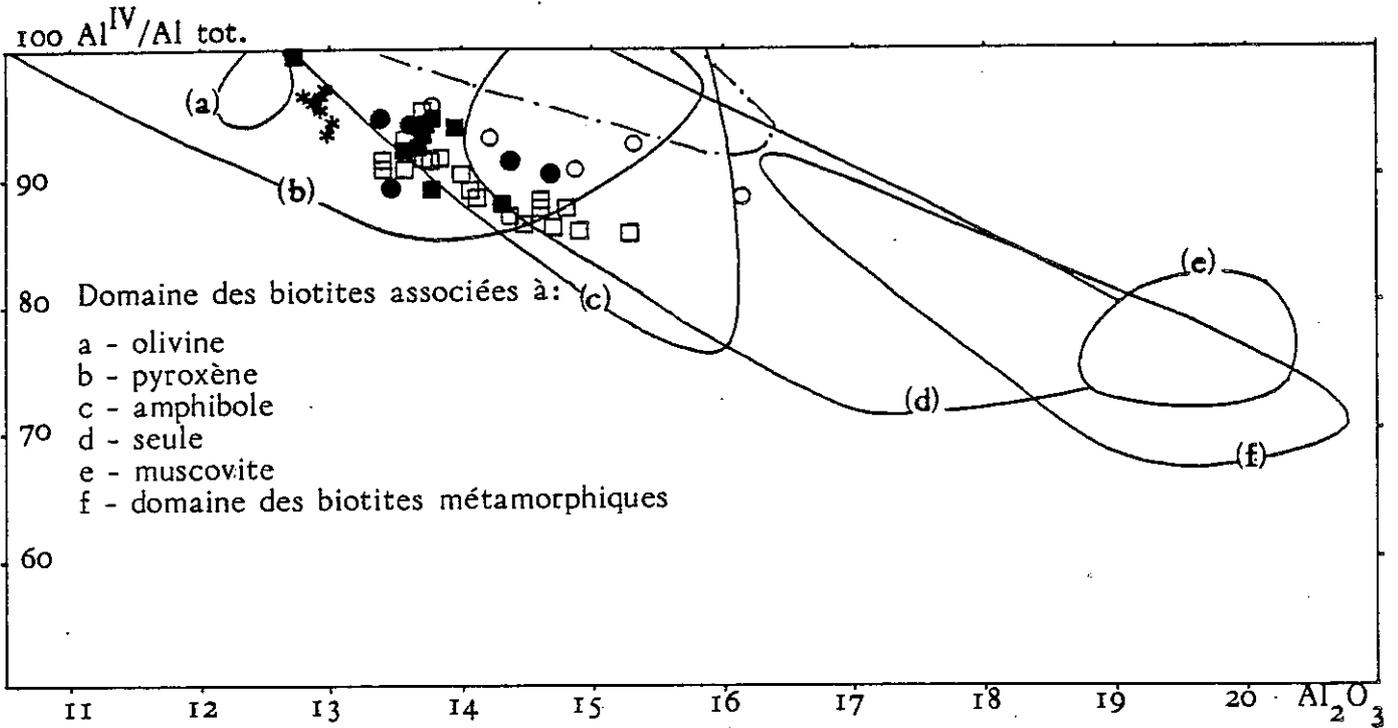
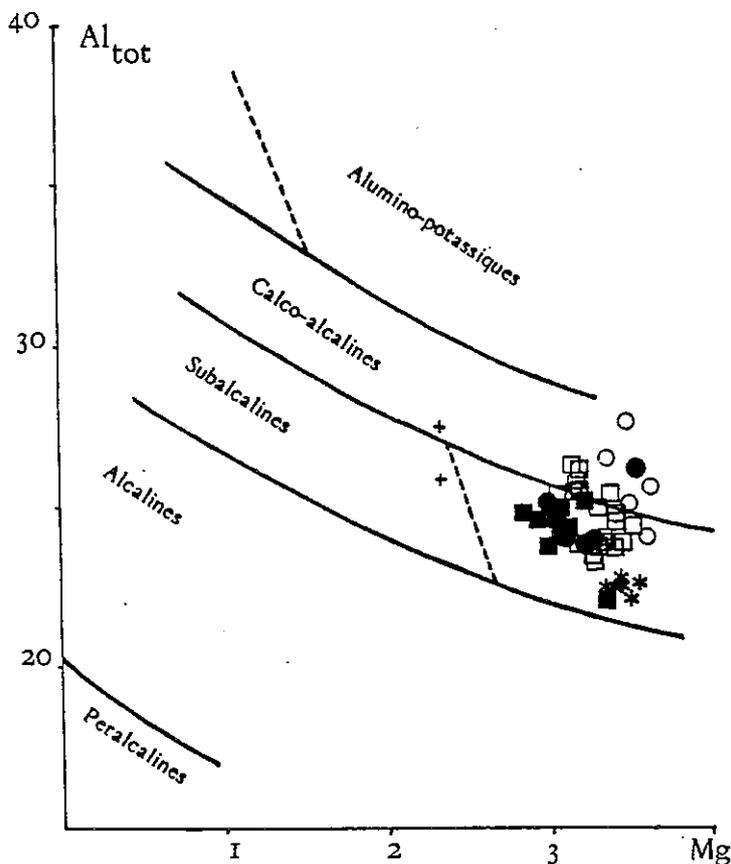


Figure n° 46 : Position des biotites des différentes lignées magmatiques en fonction de leurs teneurs en Al et Mg (Nachit, 1985)



Légende page 106

Le domaine des phlogopites se distingue de celui des biotites par un rapport $Mg^* = Mg/Mg + Fe = 0.66$ (Heinrich et al. 1953). Les tendances de plus en plus phlogopitiques des micas des facies basiques du Rochail se confirment :

granite du Rochail s.s ($Mg^* = 0.46$ chloritisée), granite du Clavier ($Mg^* = 0.55$ à 0.57), monzosyénite des Sources ($Mg^* = 0.59$ à 0.60) ; monzosyénite du Lauvitel ($Mg^* = 0.60$ à 0.63), syénite à feldspath blastique ($Mg^* = 0.63$ à 0.66), syénite porphyroïde ($Mg^* = 0.66$ à 0.69).

- Le diagramme Mg - Fe (Fig. 52)

Ce diagramme fait apparaître les substitutions réciproques du Mg et du Fer des biotites des syénites. La tendance reflétant l'évolution du chimisme des biotites depuis les facies les plus basiques vers les facies monzosyénitiques les plus leucocrates est encore confirmée.

Il est notable que cette évolution tende après un hiatus vers le pôle des biotites riches en Fer du granite du Rochail s.s. encaissant.

i - 4. Roche hôte et association minérale théorique

Le chimisme des biotites varie en fonction de la composition de la roche hôte et de son assemblage minéralogique ... (Fig. 44 et 45)

- Diagramme MgO - FeO - Al₂O₃ (Nockolds, 1947; Leterrier, 1972) (Fig. 44)

Le chimisme des biotites des syénites du Rochail correspond au domaine dans lequel elles coexistent avec le pyroxène ou l'olivine.

La tendance générale en fonction des facies est indépendante de l'alumine qui reste un élément invariant. Elle évolue d'un pôle magnésien (syénite porphyroïde) vers un pôle à tendance plus ferrifère représenté par les monzosyénites du refuge des Sources (biotites au contact acide basique : Ech. RL 243).

Les biotites du facies syénitique de contact (Ech. RL 105) partiellement recristallisées se singularisent par un appauvrissement en alumine.

Les deux biotites du granite du Rochail s.s. appartiennent au domaine où l'amphibole co-existe avec la biotite.

- Diagramme Al^{IV}/Al_{tot} - Al₂O₃ (Gagny, 1968) (Fig. 45)

Aucune tendance ne départage les biotites en fonction de leur roche hôte. Toutes les biotites, hormis celles du granite, se situent dans la région où se chevauchent les domaines à pyroxène, à amphibole et à biotite seule. L'appauvrissement en alumine des biotites du facies de contact (Ech. RL 105) entraîne par un déplacement, des points représentatifs vers le domaine à olivine. Les biotites du granite appartiennent au domaine à biotites seules.

$$Mg^* = Mg/Mg+Fe.$$

- Diagramme Al/Mg (Nachit, 1985) (Fig.46)

Les biotites du facies syénitique porphyroïde appartiennent au domaine calcoalcalin. Celles des facies monzosyénitiques correspondent au domaine subalcalin.

1 - 5. Domaine de stabilité des biotites

A partir des travaux de Wones et al. (1965) et Mueller (1972), Michon définit le domaine théorique de stabilité des biotites analysées par voie humide des vaugnérîtes des Cévennes médianes, inclus entre des températures de l'ordre de 780 à 890°C et des pressions de 3 à 4 kb.

Ces résultats ne sont applicables aux syénites du Rochail qu'à titre indicatif. En effet, le fer des biotites dosé à la microsonde est calculé en totalité sous forme de Fe²⁺ et son degré d'oxydation n'est pas déterminable : le calcul du rapport d'oxydation Fe²⁺/Fe³⁺ des biotites des vaugnérîtes des Cévennes médianes (Michon, 1979) est très variable et interdit toute interprétation.

D'autre part, le contexte métamorphique très différent dans les Cévennes médianes s'oppose à une comparaison trop étroite avec les analyses effectuées dans le massif du Rochail.

1 - 6. Conclusion

Le chimisme des biotites des syénites du Rochail indique une substitution de Mg par Fe d'autant plus importante que croît la nature plus acide et leucocrate des roches hôtes. Les extrêmes correspondent aux phlogopites des syénites porphyroïdes de Bellecote et les biotites magnésiennes à tendance ferrifère des monzosyénites des Sources près du contact acide-basique.

Le pourcentage en biotite est faible (5-10%) dans le facies le plus basique (syénite porphyroïde) où la paragenèse précoce est la mieux exprimée. Ces pourcentages deviennent importants (15 à 30%) dans la syénite à feldspath blastique où la paragenèse de deuxième génération domine (amphibole + biotite + oligoclase + apatite prismatique + sphène...).

La chloritisation, très marginale dans le granite encaissant, est due à des phénomènes deutériques tardi-magmatiques (289 Ma, Demeulemeester, 1982).

VI -2. L'amphibole

C'est, avec la biotite, un minéral typique des syénites du Rochail. Ses teneurs très élevées dans le facies porphyroïde de Bellecote (40-55%) décroissent rapidement dans les facies plus leucocrates (15-30%) monzosyénitiques.

Dans le granite encaissant elle est rare, rétrotransformée et localisée uniquement à proximité du contact acide-basique.

2. 1. Caractères minéralogiques

C'est une amphibole calcique (hornblende verte-actinote). Son habitus est généralement subautomorphe et millimétrique. Dans les facies syénitiques (à feldspath blastique et porphyroïde) certains cristaux conservent au coeur les résidus pyroxéniques. Le coeur de l'amphibole est alors de teintes plus pâles que les bordures et souvent entouré de fines exsudations sous forme de gouttelettes de quartz et albite (Fig. 47).

Dans le facies porphyroïde, l'amphibole (plus minéraux opaques) épigénise des cristaux pluricentimétriques (olivine -?- ou pyroxène). Les minéraux sont alors de petites tailles (0.2 mm), xénomorphes et ordonnés radialement.

L'amphibole est xénomorphe et interstitielle dans le facies syénitique de bordure (Ech. RL 105) et pro parte dans la monzosyénite porphyroïde de Bellecote.

Les inclusions sont nombreuses (apatite prismatique, sphère, biotite) dans les cristaux subautomorphes d'amphibole. Lorsque l'amphibole montre des vestiges de pyroxènes ou une décoloration au coeur, ces inclusions restent limitées aux bordures du cristal.

L'altération, inexistante dans les facies basiques du Rochail, est totale pour les amphiboles du granite encaissant à proximité des contacts acide basique (chlorite, calcite, minéraux opaques ...). Dans ce dernier cas, l'amphibole semble avoir été arrachée à l'enclave basique et entraînée mécaniquement par le granite encaissant puis déstabilisée au sein de ce milieu acide.

2. 2. Composition chimique (Tableau n° 3 p157)

Les amphiboles de chacun des facies basiques du Rochail étudié ont été analysées. En particulier, quelques unes d'entre elles possédant les clivages résiduels du pyroxène et/ou simplement une décoloration au centre ont fait l'objet d'une série d'analyses pour suivre l'évolution chimique du coeur et de la bordure du cristal.

La formule structurale des amphiboles a été calculée sur la base de 23 Ox. H₂O étant estimé à 2% et le fer dosé sous sa forme Fe²⁺.

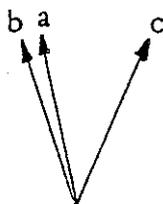
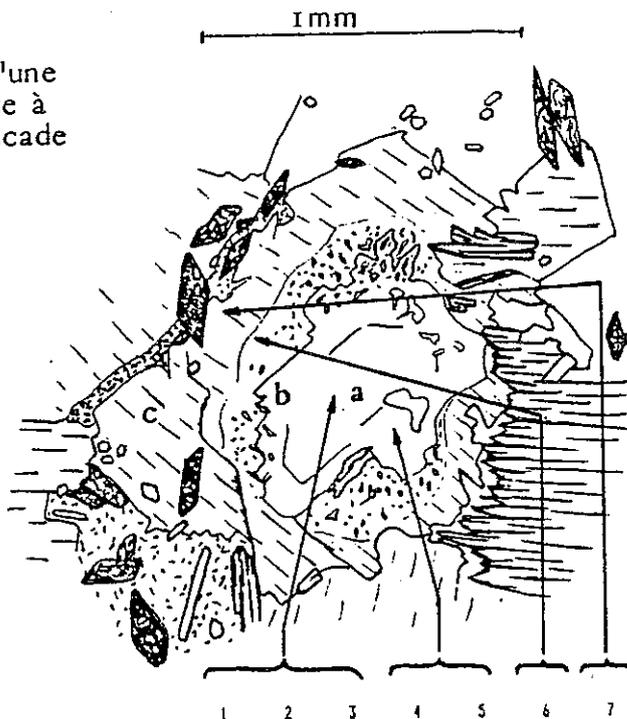
La teneur en Fer trivalent pourrait être estimée en considérant que la somme de tous les cations hormis Ca, Na et K est égale à 13 (Stout, 1972).

Toutefois, ce calcul ne permet pas de déterminer les conditions d'oxydo-réduction réelles du magma en cours de cristallisation.

Les variations opposées du Fe (K, Na, Ti, Al) et du Mg (Si, Mn, Ca, +/-Cr) de l'amphibole sont les plus notables.

Figure n° 47 :
Analyses chimiques séries d'une
amphibole zon e de la syénite  
feldspath blastique de la Cascade
du Lauvite! (Ech. RL 103).

Noter le coeur automorphe
et les exsudations de fines
gouttelettes de quartz et
d'albite autour de celui-ci.



axe d'extinction
des individus d'amphibole.

S102	51.18	51.88	58.56	53.37	53.63	55.52	55.63
AL2O3	5.51	5.41	5.11	3.87	2.77	1.23	1.45
FE2O3	-	-	-	-	-	-	-
FE0	18.12	9.88	9.78	9.28	9.65	8.39	9.22
HSO	15.85	16.77	16.56	17.43	17.66	18.59	17.38
CR0	12.14	12.15	12.17	12.23	12.85	12.92	12.42
HAZ0	1.31	1.21	1.87	0.77	0.73	0.34	0.58
X2O	0.51	0.51	0.47	0.38	0.21	0.17	0.22
T102	0.55	0.54	0.61	0.42	0.29	0.89	0.13
MO	0.27	0.13	0.15	0.22	0.38	0.29	0.29
CR2O3	0.24	0.19	0.23	0.26	0.48	0.37	0.19
N10	-	0.11	0.01	0.05	0.08	0.18	-
TOTAL	97.68	97.98	96.72	97.48	98.48	97.99	97.93

SI	7.347	7.385	7.327	7.619	7.682	7.828	7.855
RL	0.934	0.913	0.873	0.517	0.463	0.284	0.325
CR	0.827	0.822	0.826	0.829	0.845	0.841	0.821
FE3	-	-	-	-	-	-	-
FE2	1.217	1.184	1.185	1.188	1.144	0.909	1.099
NI	-	0.813	0.801	0.886	0.889	0.828	-
NM	0.833	0.816	0.818	0.827	0.836	0.835	0.835
MO	3.397	3.588	3.577	3.789	3.731	3.987	3.641
TR	0.859	0.858	0.866	0.845	0.821	0.818	0.814
CA	1.878	1.865	1.898	1.871	1.952	1.952	1.879
NA	0.365	0.336	0.381	0.213	0.281	0.893	0.159
K	0.894	0.893	0.887	0.855	0.838	0.813	0.848

TOTAL	15.343	15.384	15.351	15.197	15.242	15.892	15.857
-------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------

ALIV	0.653	0.695	0.673	0.381	0.398	0.172	0.145
ALVI	0.281	0.218	0.199	0.135	0.045	0.033	0.188
Z	0.888	0.888	0.888	0.888	0.888	0.888	0.888
Y	5.814	5.898	5.874	5.859	5.852	5.935	4.988
N	2.888	2.888	2.888	2.888	2.888	2.888	2.888
NAM4	0.138	0.135	0.118	0.129	0.048	0.048	0.121
NAA	0.235	0.281	0.198	0.084	0.152	0.045	0.038
A	0.329	0.294	0.277	0.138	0.198	0.157	0.077
C+	0.756	0.658	0.636	0.393	0.343	0.158	0.386
C-	0.783	0.938	0.784	0.511	0.446	0.228	0.266
MG	73.625	75.157	75.111	76.999	76.535	79.794	76.981
MG*	73.625	75.157	75.111	76.999	76.535	79.794	76.981

TOTAL	15.343	15.384	15.351	15.197	15.242	15.892	15.857
-------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------

- le site Z (Si, Al, Fe³⁺)

Dans tous les facies étudiés, le silicium représente 7.5 à 7.8 atomes de ce site Z toujours saturé à huit atomes.

Toutefois, les analyses font apparaître des teneurs légèrement plus faibles au coeur des amphiboles "zonées" (7.25 Si).

L'aluminium suffit à compléter sous sa forme tétracoordonnée le site Z dans des proportions variant de 10% au coeur des amphiboles zonées à 2.5% pour les bordures. La très bonne corrélation de Al^{IV}/Al^{total} (Figure) avec une pente voisine de l'unité reflète l'entrée de la quasi totalité de l'aluminium disponible dans le site Z.

Les travaux expérimentaux de Deer et al. (1965), Green et Ringwood (1968), Holloway et Burnham (1972) tendent à démontrer que la substitution de Si par Al^{IV} dans le site Z est symptomatique des températures élevées de cristallisation de l'amphibole. D'autre part, les fortes teneurs en Si dans le site Z serait d'après Nockolds et al. (1948) le signe d'une recristallisation à partir d'un pyroxène préexistant, ce que confirme l'observation microscopique.

- le site Y (Fe³⁺, Al^{IV}, Fe²⁺, Mg, Mn, Ti, Cr, Ni)

Avec cinq atomes par maille, ce site est également saturé.

Les variations les plus significatives affectent le magnésium dont les teneurs varient de 3.55 atomes en site Y au coeur des amphiboles zonées à 3.90 sur les bordures. A celles-ci s'opposent les teneurs en Fer trivalent (0.32 à 0.12).

Les teneurs en Fer du site Y sont d'autant plus importantes que l'amphibole appartient à un facies plus leucocrate.

L'aluminium hexacoordonné ne représente que 12% en moyenne de l'aluminium total.

Les teneurs en titane sont faibles (0.03-0.05). D'après Green et Ringwood (1968), Holloway et Burnham (1972), Ti entre d'autant plus facilement dans le réseau de l'amphibole que la température de formation est élevée. Dans les facies syénitiques du Rochail, la pauvreté en Ti de l'amphibole peut s'expliquer par l'abondance du sphène et une fugacité d'oxygène élevée. Les conditions de pression de fluides permettent le piégeage du Ti dans un réseau autre que celui de l'amphibole.

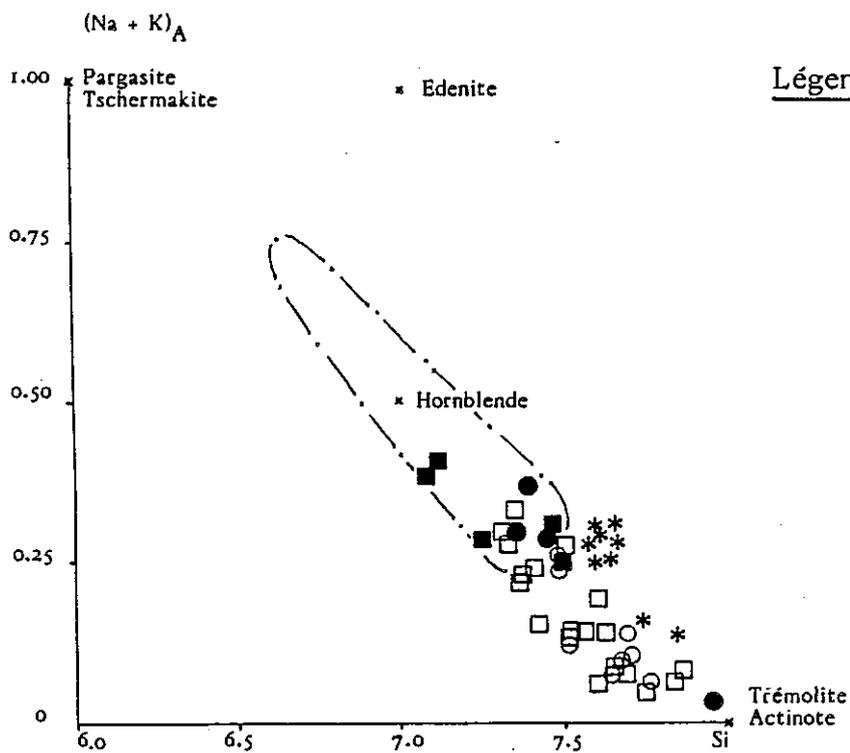
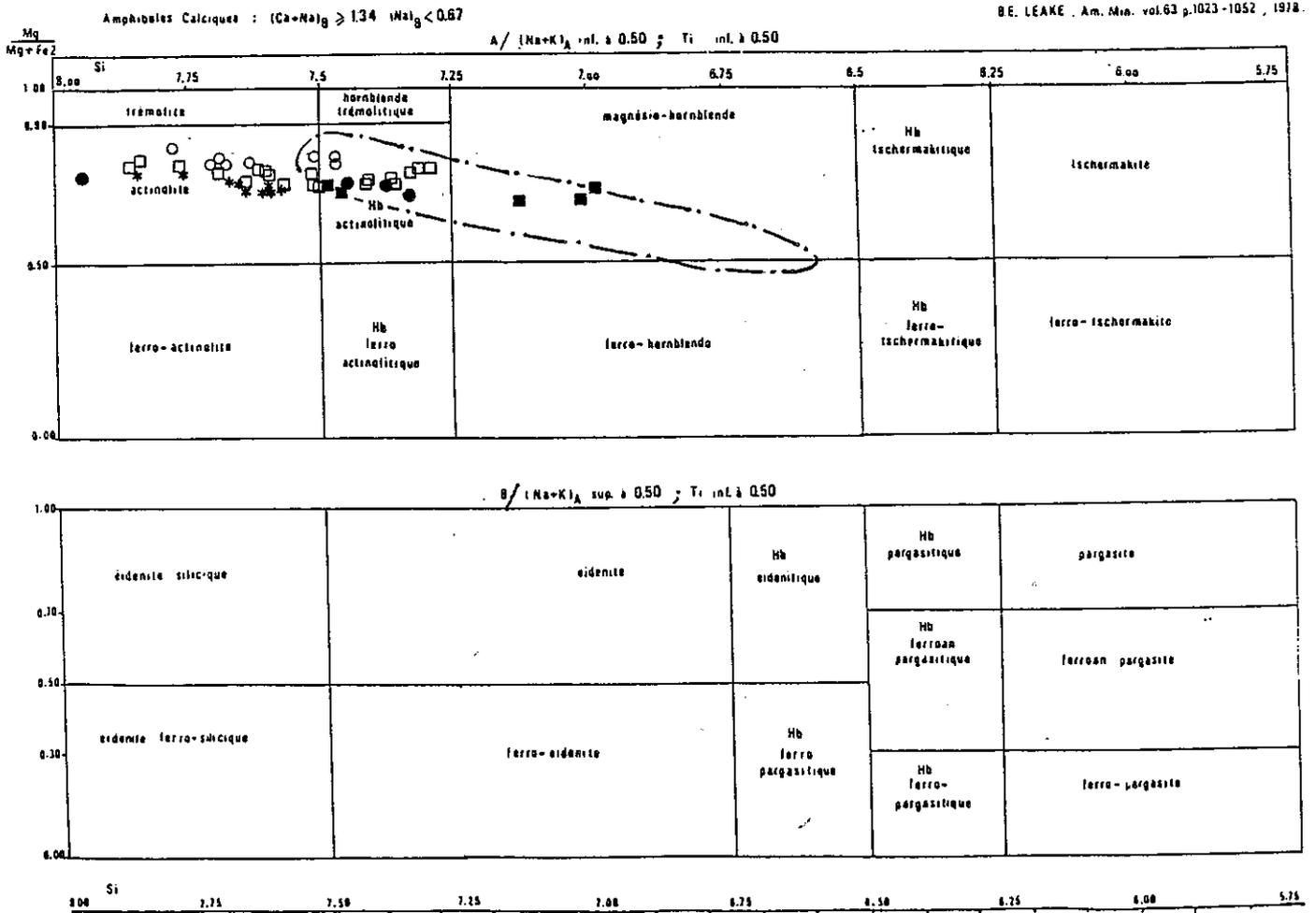
Le Manganèse (chrome et nickel) complète(nt) le site Y.

- le site M (Ca, Na)

Le calcium dont les teneurs sont remarquablement constantes (1.84 - 1.94) occupe les 9/10 du site, et la substitution de Na pour saturer le site à deux atomes reste faible.

Figure n° 48 : Classification chimico-minéralogique des amphiboles calciques (B.E. Leake, 1978)

B.E. LEAKE, Am. Min. vol.63 p.1023-1052, 1978.



Légende page 106

- le site A (Na, K)

Ce site présentant le double d'atomes de Na par rapport à K est rarement saturé. Dominé par Na, il présente de fortes fluctuations (0.070 - 0.400).

2-3. Nomenclature

Les analyses des amphiboles des syénites du Rochail ont été reportées sur les diagrammes de Leake (1968 et 1978).

Ces classifications sont fondées sur la composition chimique d'une amphibole standard calculée sur la base de 24 (O, OH, F, CL) ou 23 (O) lorsque H₂O est non dosée.

- le diagramme Mg/Mg+Fe-Si (Leake, 1978) : figure 48

L'analyse des amphiboles des syénites du Rochail révèle une tendance depuis les actinotes, pour les facies les plus basiques, jusqu'à la limite des hornblendes magnésiennes dans les monzosyénites.

Les analyses portant sur les amphiboles zonées mettent en évidence un coeur de hornblende actinolitique entouré d'une couronne d'actinote. (Fig.)

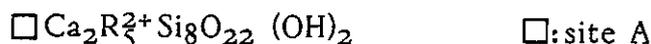
Le facies syénitique de contact (Ech. RL 105) présente une faible dispersion des analyses dans le domaine des actinotes.

- le diagramme Al^{VI}-Si (Leake, 1965, Raase, 1974) (Figure 50)

Les amphiboles des facies syénitiques sont à la limite du domaine des amphiboles des roches éruptives. Les amphiboles du facies syénitique de contact (Ech. RL 105) se trouvent même dans le domaine des amphiboles métamorphiques. Les conditions de pression lors de la cristallisation seraient de l'ordre de 5 Kb.

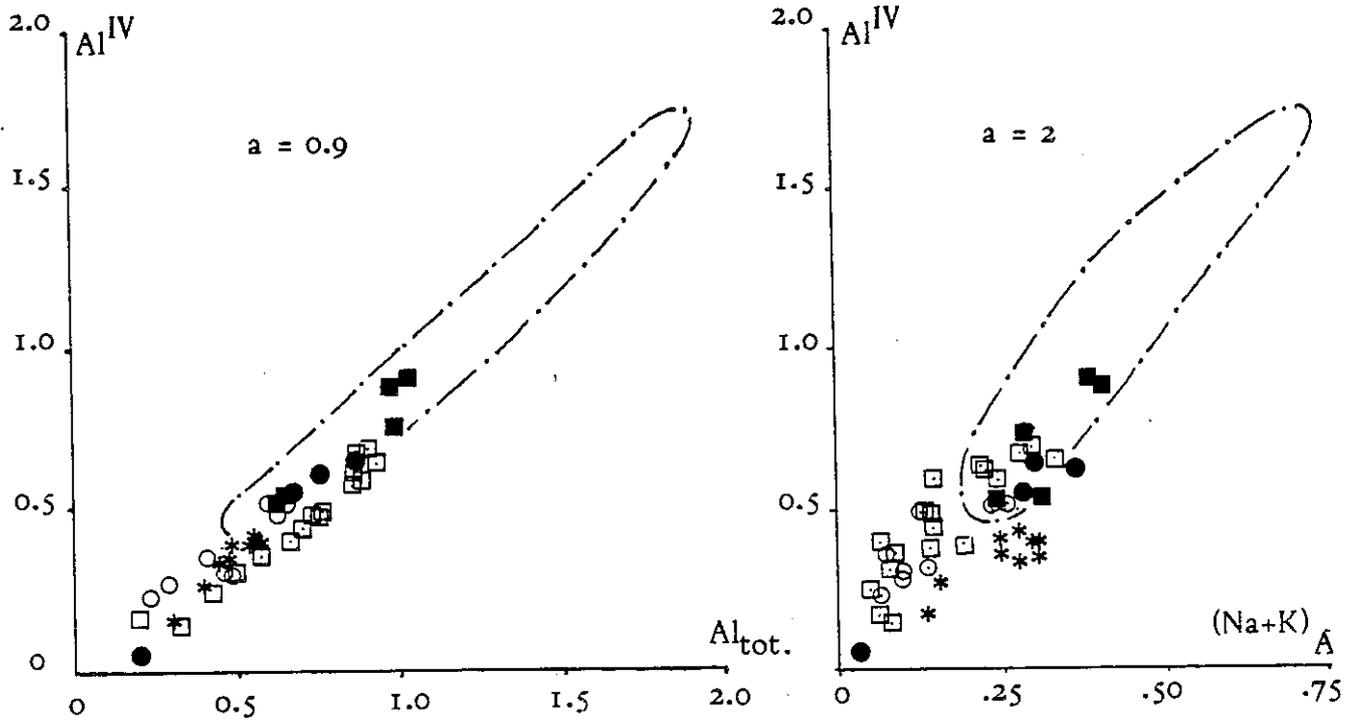
2-4. Les substitutions chimiques (Figure 49)

Un certain nombre de substitutions atomiques ayant affecté les amphiboles calciques peuvent être décrites à partir de la formule structurale de la trémolite :

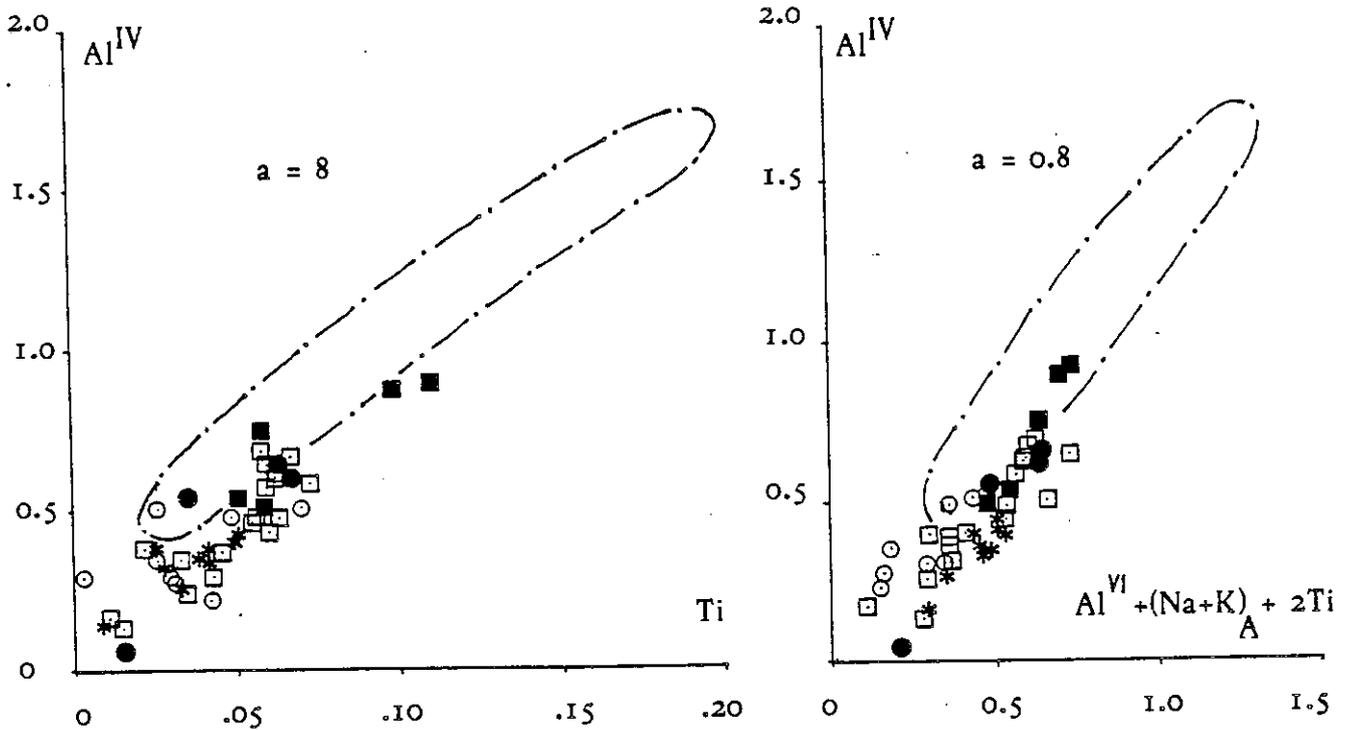


La bonne corrélation entre Al^{IV} et les alcalins du site A (Figure 49) souligne l'importance de la substitution édenitique : $(\text{Na} + \text{K})\text{A} + \text{Al}^{\text{IV}} \rightleftharpoons \square + \text{Si}$

Figure n° 49 : Corrélations existantes avec l'aluminium tétracoordonné des amphiboles de syénite du Rochail.



Légende page 106



Un autre type de substitution permettant l'entrée de l'aluminium en site tétraédrique intervient compte tenu de la valeur élevée de la pente de la corrélation ($Al^{IV}/(Na+K)_A = 2$) par rapport à la valeur théorique (=1).

Le titane est corréléable avec $Al^{IV} : Ti_Y + Al^{IV} \rightleftharpoons R^{2+} + 2Si$ (Fig. 49). La pente de la droite de corrélation ($Al^{IV}/Ti = 8$) très supérieure au rapport théorique ($Al^{IV}/Ti = 2$) pourrait s'expliquer par le déficit en titane corrélatif aux conditions de pression de fluides/et de fugacité élevée dans lesquelles l'amphibole a cristallisé (D'arco, 1982).

La présence de la quasi-totalité (88% en moyenne) de l'aluminium en site tétracoordonné implique que le cation R^{3+} dominant du site Y est le Fe^{3+} . Pour Czamanske et Wones (1973), ceci indiquerait le rôle prépondérant de la substitution ($Fe^{3+} + Al^{VI} \rightleftharpoons R^{2+} + Si$) sur la substitution tschermakitique ($Al^{VI} + Al^{IV} \rightleftharpoons R^{2+} + Si$). Cette dernière se traduit d'ailleurs par aucune corrélation pour les amphiboles des syénites du Rochail.

Les rapports entre le fer trivalent calculé par la méthode de Stout (1972) et Al^{VI} sont quelconques et reflètent l'absence de substitution ($Fe^{3+} + Al^{VI} \rightleftharpoons R^{2+} + Si$).

Lorsque les substitutions édénitiques et tschermakitiques sont prépondérantes, la relation $Al^{IV} = (Na+K)_A + Al^{VI} + Fe^{3+} + 2Ti$ doit être vérifiée dans le cas de la hornblende (Robinson et al. 1973). Pour les amphiboles des syénites du Rochail cette équation est presque équilibrée (Figure 49). De même le rapport $Al^{IV}/Al^{VI} + (Na+K)_A + 2Ti$, calculé en l'absence de Fe^{3+} , est proche de l'unité.

2 - 5. Conditions de stabilité

Les travaux de différents auteurs (Leake, 1971 ; Helz, 1972, Burnham, 1975 etc) démontrent le rapport étroit existant entre le type de substitution affectant les amphiboles et les conditions thermodynamiques dans lesquelles ces minéraux ont cristallisé.

- la pression totale

la quasi-inexistence de substitution où intervient Al^{VI} (de type tschermakitique, glaucophane) suggère une pression modérée à faible lors de la cristallisation de l'amphibole (Leake, 1965 ; Helz, 1973, 1982). Cette pression pourrait être de l'ordre de 5 kb (Fig. 50).

- la température

il existe une corrélation entre la température de cristallisation de l'amphibole et Al^{IV} des sites tétraédriques (Leake, 1971 ; Helz, 1973). Les amphiboles des syénites du Rochail présentent des teneurs inférieures aux amphiboles synthétiques obtenues à partir de magma andésitique saturé en eau et à une pression de 5 kb (Eggler, 1972 ; Allen et al., 1975 : Fig. 51). La température de cristallisation des amphiboles serait inférieure à 700°C pour les facies les plus basiques.

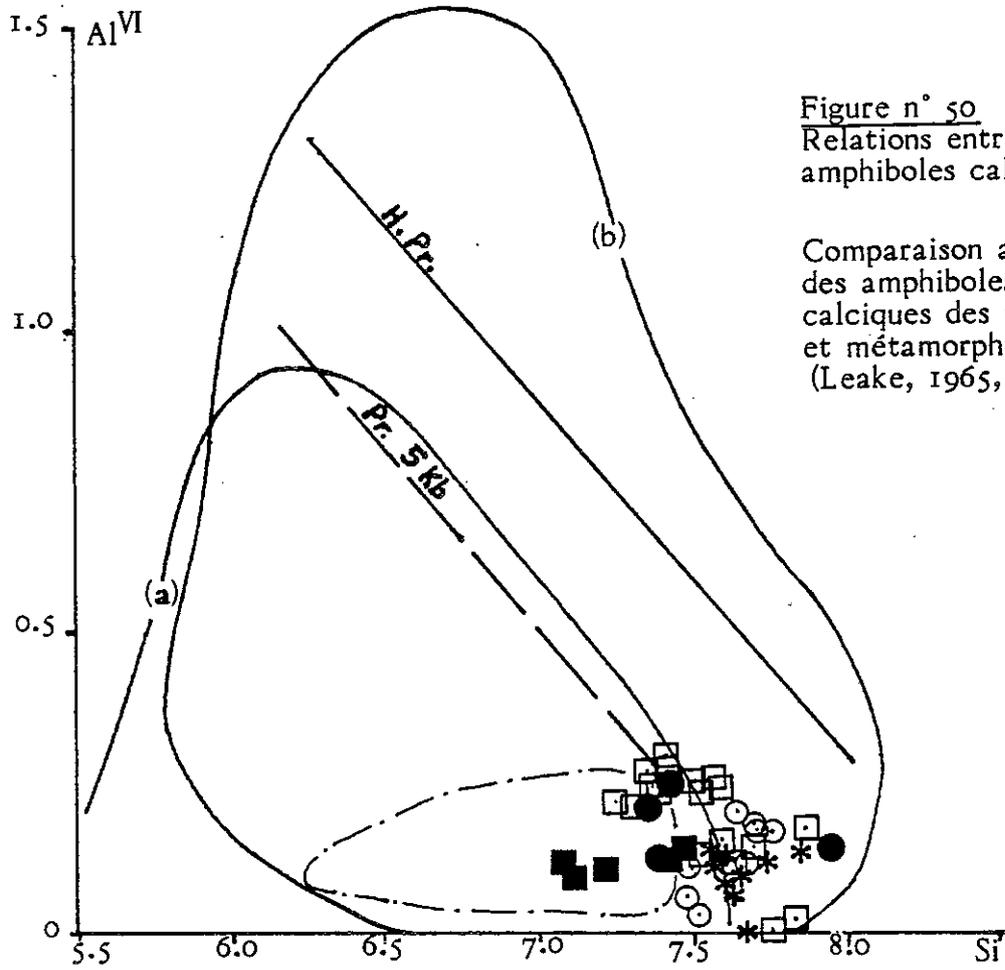


Figure n° 50 :
Relations entre Al^{VI} et Si
amphiboles calciques

Comparaison avec les domaines
des amphiboles monocliniques
calciques des roches éruptives (a)
et métamorphiques (b)
(Leake, 1965, Raase, 1974)

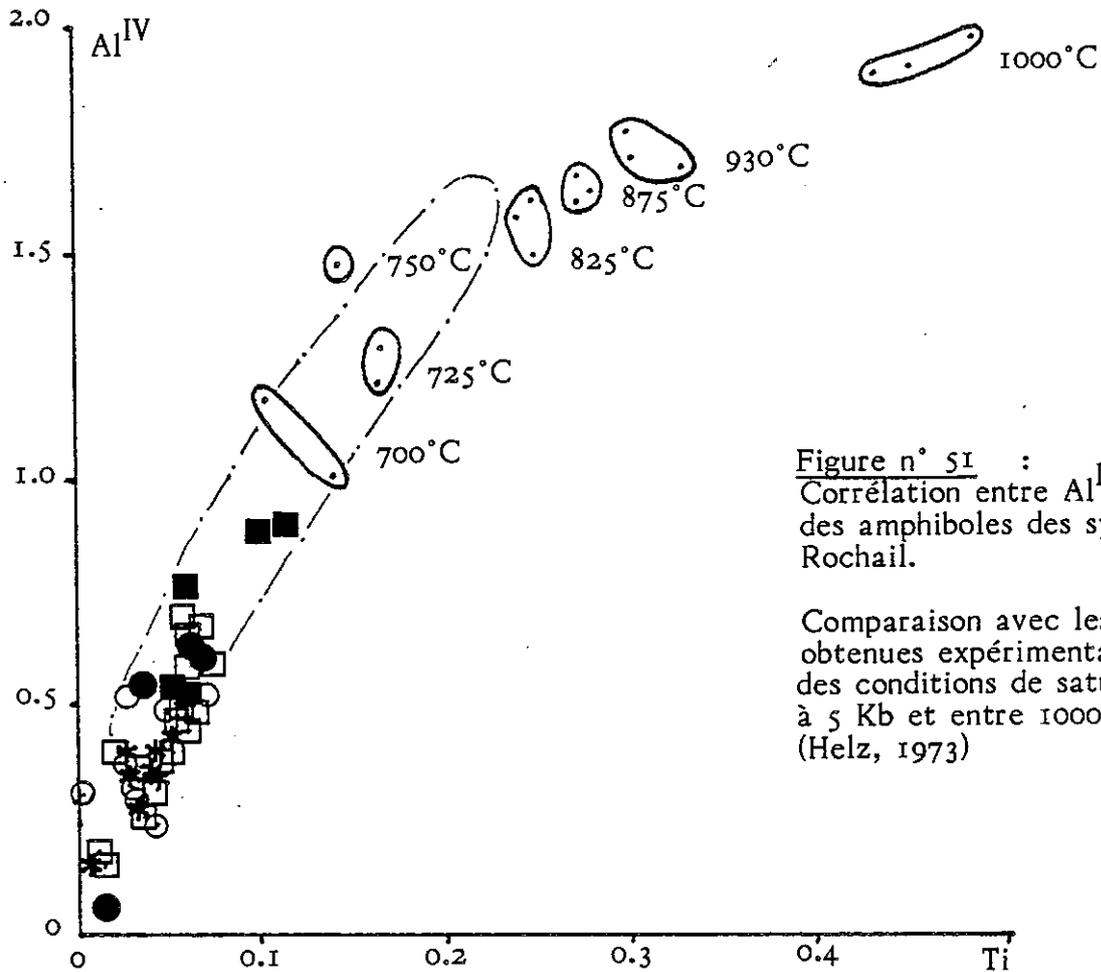


Figure n° 51 :
Corrélation entre Al^{IV} et Ti
des amphiboles des syénites du
Rochail.

Comparaison avec les amphiboles
obtenues expérimentalement dans
des conditions de saturation en eau
à 5 Kb et entre 1000°C et 700°C.
(Helz, 1973)

Lorsque les substitutions de type édénitique et tschermakitique sont importantes (Na entre dans le site A et Ti dans le site Y), la température de cristallisation des amphiboles est relativement élevée (Helz, 1973, 1982 ; Arnaud, 1980). Dans le cas des amphiboles des syénites du Rochail, la substitution de Ti en site Y reste modérée.

- la teneur en eau

L'abondance de minéraux hydratés (biotite, amphibole) dans les syénites du Rochail, ainsi que la complète rétro-morphose du pyroxène en amphibole suggèrent une teneur en eau importante. L'ordre de cristallisation des minéraux est étroitement lié à la teneur en eau du milieu dans lequel ils apparaissent (Wyllie, 1975).

- la fugacité d'oxygène

La pénétration du Ti dans le réseau du sphène (abondant dans les syénites du Rochail) aux dépens de celui de l'amphibole pourrait suggérer un niveau élevé de la fugacité en oxygène.

Les teneurs en Al^{IV} inférieures à l'unité signifie des conditions de subsolidus (Helz, 1982) de cristallisation de l'amphibole.

Dans le cas des amphiboles des syénites du Rochail, les faibles teneurs en Al^{IV} et Ti pourraient résulter d'une température de cristallisation peu élevée et/ou d'un rééquilibrage entre les minéraux et le liquide résiduel.

Pour comparaison, Michon (1979) évaluait les conditions de cristallisation des amphiboles de vaugnérites du Haut Vivarais et du Lyonnais de l'ordre de 3 à 4 kb et 810 à 860°C, avec une faible fugacité d'oxygène.

De telles différences pourraient s'expliquer par le contexte métamorphique lié à l'anatexis velave affectant cette partie du Massif Central.

2 - 6. Le couple amphibole - biotite

Cette association est typique des syénites du Rochail en particulier, et plus généralement des vaugnérites, notamment celles étudiées dans le Massif Central.

Biotite et amphibole sont toujours présentes simultanément dans les syénites mais à des teneurs très variables et souvent opposées.

Dans les facies les plus basiques l'amphibole recèle les vestiges de pyroxène (clivages) et/ou de phénocristaux pluricentimétriques entourés d'une corona biotitique (olivine-?-) : ces facies sont relativement pauvres en biotite (5-10%).

Figure n° 52 : Variation de FeOt et MgO des biotites et amphiboles des syénites du Rochail.

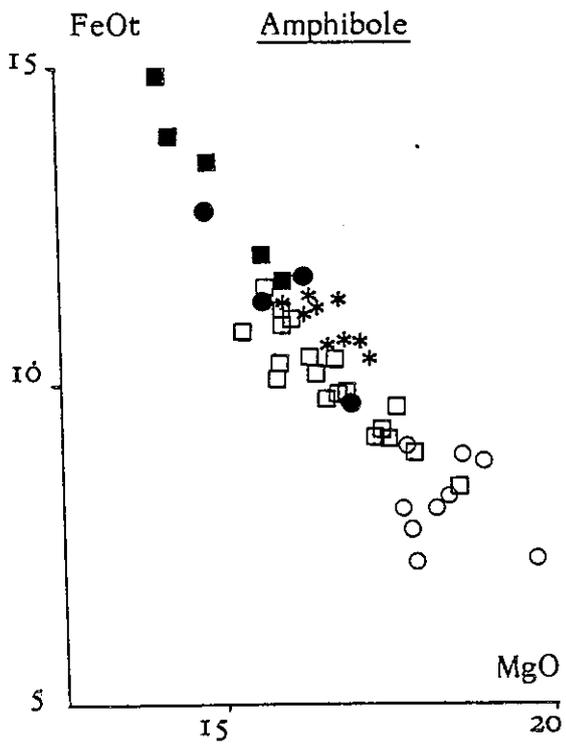
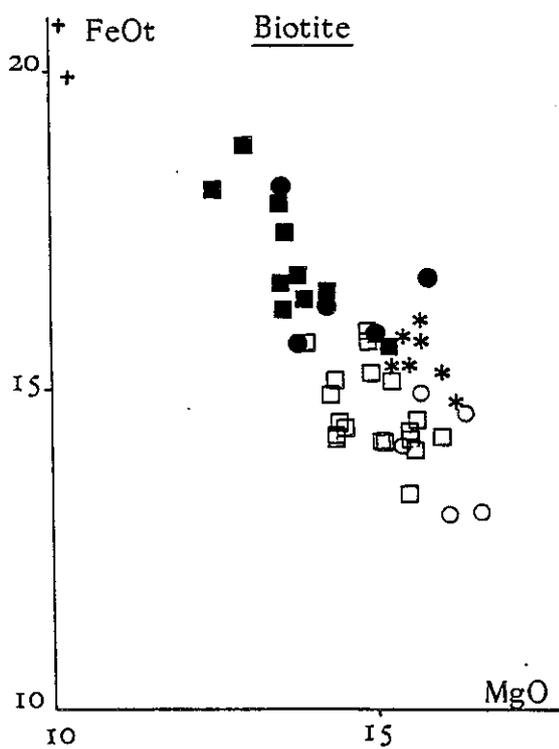
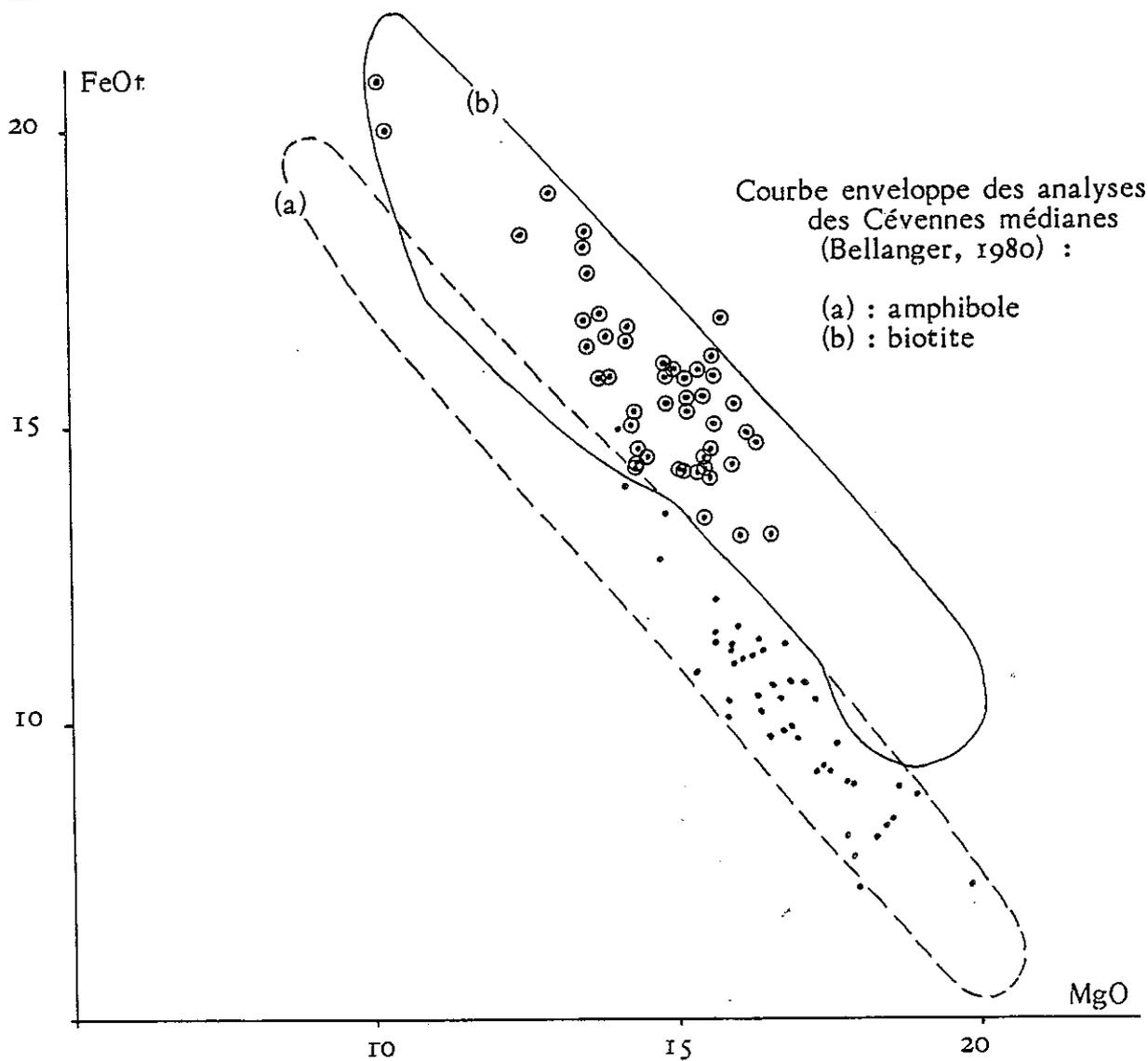


Figure n° 53 : Distribution de Al^{IV} dans les amphiboles et biotites coexistantes (R. Gorbatshev, 1970)

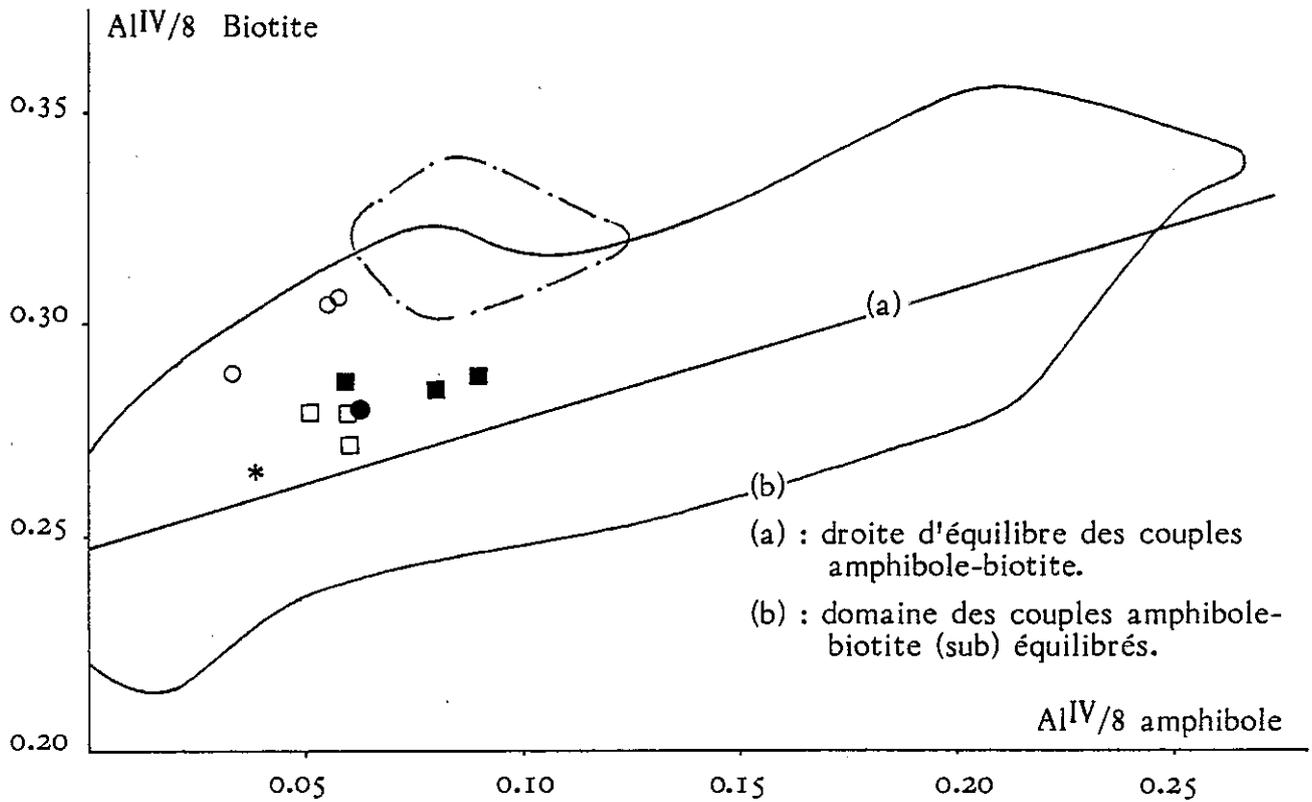
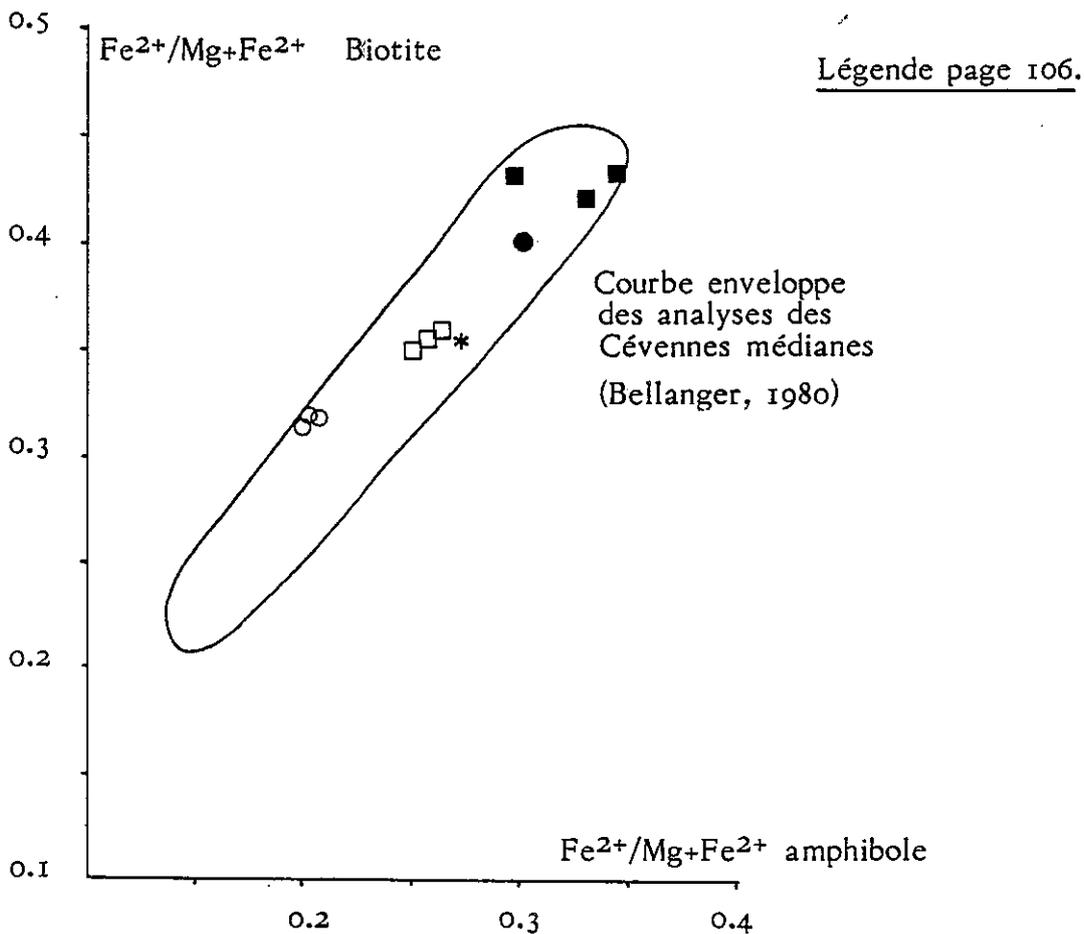


Figure n° 54 : Evolution du rapport $Fe^{2+}/Mg+Fe^{2+}$ des biotites relativement à celui des amphiboles coexistantes.



L'équilibre entre minéraux des roches métamorphiques est parfait (Mueller, 1972). Celui des roches éruptives est souvent imparfait (Fig. 53). Les couples biotites - amphiboles du Rochail sont dans le domaine des couples sub-équilibrés. Les points représentatifs des facies les plus proches de la droite d'équilibre correspondent aux plus leucocrates de Bellecote et du Lauvitel. En particulier s'y trouve le facies de contact (Ech. RL 105) recristallisé.

Le fer et Mg sont deux éléments discriminant simultanément les biotites et les amphiboles des facies basiques du Rochail. (Fig. 52).

Pour un même facies, la biotite est moins magnésienne et surtout plus ferrifère que l'amphibole. Ceci pourrait signifier une cristallisation précoce de l'amphibole par rapport à la biotite ; ou plus vraisemblablement les conséquences d'un héritage chimique du pyroxène pré-existant pour l'amphibole dont n'a pas profité la biotite.

Les rapports $Fe/Fe+Mg$ des couples biotite-amphibole se situent sur une courbe d'équilibre identique à celle obtenue pour les échantillons des Cévennes médianes. Pour Bellanger (1980) ceci reflète l'équilibre thermodynamique existant entre ces deux espèces minérales; (Fig. 54).

VI - 3. Le feldspath alcalin

L'étude chimique du feldspath alcalin, ainsi que celle du plagioclase portent sur un nombre restreint d'analyses (Tableau VIII page 163).

Dans les syénites du Rochail, le pourcentage de feldspath alcalin croît à partir du facies syénitique porphyroïde (10 à 15%) jusqu'aux facies monzosyénitiques (35 à 45%). Dans le granite encaissant, ces teneurs sont de l'ordre de 20 à 30%. Notons en comparaison que le pourcentage en feldspath alcalin des vaugnérites du Massif Central est particulièrement faible (0.9 à 9.7%) : Michon, 1979.

3 - 1. Caractère minéralogique

Il s'agit d'un feldspath potassique perthitique en bandelette et présentant fréquemment le moirage du microcline. Aucune étude complémentaire n'a été effectuée pour déterminer sa nature exacte : orthose ou microcline. Toutefois, Termier (1896) puis Buffière (1964) le qualifient de microcline dans leurs travaux respectifs.

Le feldspath potassique possède deux habitus distincts dans les syénites du Rochail :

- il est interstitiel, millimétrique à pluricentimétrique (feldspath blastique) et très poécilitique, piégeant toutes les phases minérales (excepté le quartz tardif) et notamment l'apatite aciculaire. Cet habitus est présent dans l'ensemble des facies syénitiques.

L'apatite aciculaire est associée exclusivement à ce feldspath potassique.

- il est automorphe, centimétrique et zoné dans les facies monzosyénitiques. Le plagioclase est en inclusions épitaxiales au cœur du cristal. La biotite, l'amphibole et le sphène ne sont présents que dans la frange la plus externe du cristal.

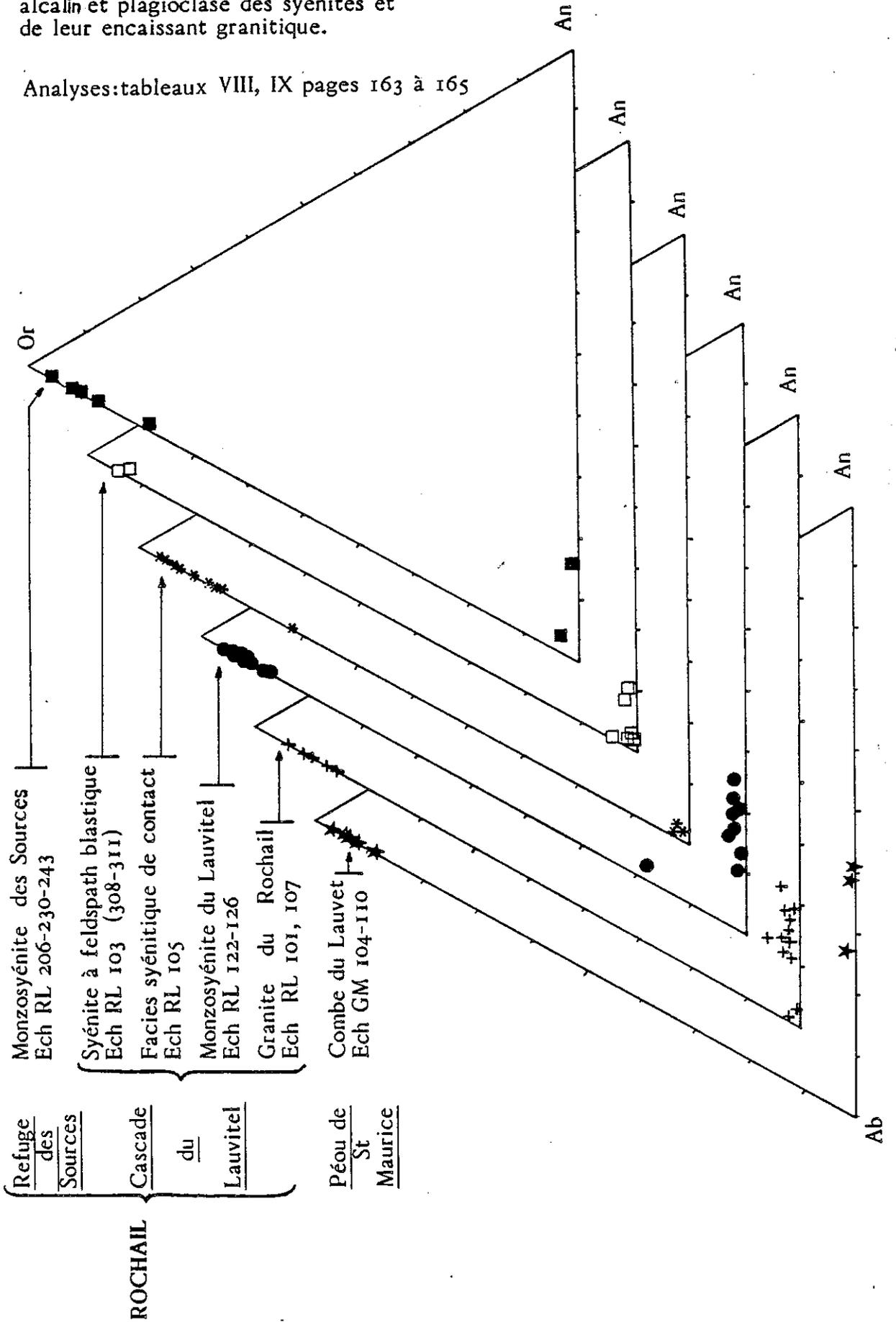
Ces deux habitus du feldspath alcalin sont également présents dans le granite encaissant, et en particulier dans le facies Clapier. Toutefois, le moirage du microcline semble être moins répandu.

L'albite est accessoire. Elle constitue quelques rares figures réactionnelles entre le feldspath potassique et la biotite des syénites du Rochail. Son principal habitus est interstitiel et tardif. L'albite cristallise avec le quartz dans les ombres de pression des phénocristaux de feldspath potassique des facies monzosyénitiques.

3 - 2. Composition chimique (Tableau VIII p. 163).

Le chimisme du feldspath alcalin des syénites du Rochail ne présente pas d'évolution sensible entre les différents facies observés sur le terrain.

Figure n° 55 : Diagramme Ab/An/Or - Positions des analyses des feldspaths alcalin et plagioclase des syénites et de leur encaissant granitique.



- diagramme Or - Ab - An (Fig. 55)

Dans chacun des facies étudiés, les analyses de feldspath alcalin se répartissent en deux groupes :

- le feldspath potassique Or 85, 95 *

Dans ce groupe sont rassemblées les analyses des plages xénomorphes et des phénocristaux de feldspath alcalin des syénites et du granite encaissant. La similitude chimique et minéralogique (habitus, moirage...) tant au sein des syénites, qu'entre le granite encaissant et les syénites tendrait à suggérer une origine commune du feldspath alcalin des matériels acide et basique.

- le pôle sodique AnO, 5* représente l'albite de fin de cristallisation des syénites du Rochail et du granite encaissant.

3 - 3. Conditions de stabilité du feldspath alcalin

La transformation d'orthose en microcline est possible à partir de 500 à 550°C et facilitée par la présence d'une phase hydratée (Mergoil-Daniel, 1970). La réaction inverse est toujours incomplète.

Pour Michon (1979), la microclinisation de l'orthose des vagnérites du Massif Central serait due soit aux conditions (P et T) liées au refroidissement du magma, soit à un début de rééquilibrage au cours d'une déformation thermique.

En l'absence de données expérimentales complémentaires sur le feldspath potassique des syénites du Rochail, rien ne permet de trancher entre ces hypothèses.

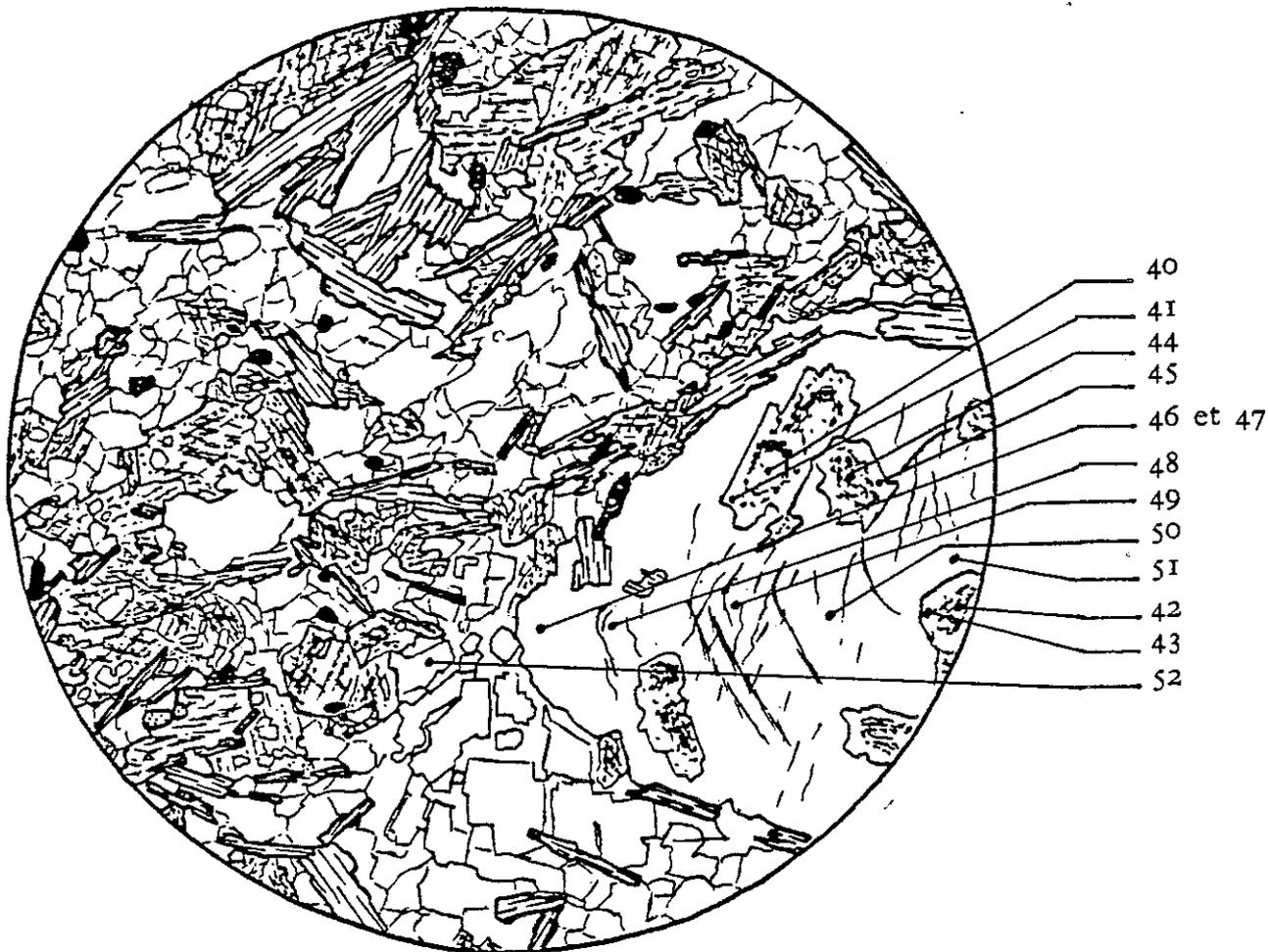
3 - 4. Conclusion

Le feldspath alcalin offre des caractères semblables dans la syénite du Rochail et son encaissant granitique. Aucune variation notable du chimisme n'apparaît tant au sein des divers facies syénitiques que dans le granite. Ceci suggère une origine commune pour l'ensemble du feldspath alcalin. Dans les syénites, ce minéral est en effet typique de la paragenèse alcaline tardimagmatique dont la signification serait celle d'une granitisation du matériel basique.

La microclinisation observée microscopiquement pourrait être postérieure à cet épisode et traduire un événement tectonique (?) au cours de la phase de refroidissement du massif (500 à 550°C).

* : analyse chimique

Figure n° 56 :
 Analyses chimiques d'un phénocrystal de feldspath potassique et de ses inclusions
 épitaxiales de plagioclase.
 Monzosyénite du Lauvitel, Rochail : Ech R.L. 126



	Plagioclases						-Phénocrystal de feldspath potassique-					Felds. K	
	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52
K ₂ O	0.0018	0.0028	0.0019	0.0024	0.0018	0.0024	0.1639	0.1545	0.1498	0.1606	0.1424	0.1517	0.1542
CaO	0.0408	0.0498	0.0388	0.0437	0.0264	0.0339	0.0000	0.0001	0.0005	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
BAU	0.0017	0.0003	0.0012	0.0000	0.0000	0.0017	0.0067	0.0054	0.0088	0.0177	0.0114	0.0133	0.0085
CR ₂ O ₃	0.0003	0.0000	0.0002	0.0000	0.0001	0.0008	0.0008	0.0003	0.0000	0.0009	0.0000	0.0004	0.0000
TiO ₂	0.0003	0.0000	0.0000	0.0021	0.0010	0.0013	0.0078	0.0004	0.0001	0.0000	0.0000	0.0012	0.0013
MNO	0.0005	0.0004	0.0000	0.0004	0.0006	0.0006	0.0005	0.0004	0.0002	0.0011	0.0000	0.0002	0.0000
FeO	0.0012	0.0021	0.0031	0.0015	0.0011	0.0017	0.0008	0.0007	0.0004	0.0011	0.0002	0.0095	0.0011
NiO	0.0003	0.0014	0.0000	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0011	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Na ₂ O	0.0892	0.0879	0.0887	0.0864	0.0999	0.0914	0.0043	0.0091	0.0129	0.0051	0.0095	0.0101	0.0107
SiO ₂	0.6300	0.6220	0.6272	0.6281	0.6490	0.6432	0.6353	0.6409	0.6418	0.6280	0.6280	0.6294	0.6347
Al ₂ O ₃	0.2353	0.2392	0.2293	0.2325	0.2219	0.2232	0.1909	0.1871	0.1926	0.1887	0.1897	0.1900	0.1927
H ₂ O	0.0000	0.0000	0.0002	0.0002	0.0001	0.0000	0.0000	0.0002	0.0000	0.0002	0.0002	0.0003	0.0000
	1.0014	1.0057	0.9904	0.9978	1.0020	1.0003	1.0110	0.9995	1.0082	1.0035	0.9814	1.0061	1.0032
K	0.0100	0.0134	0.0107	0.0146	0.0098	0.0133	0.9650	0.9143	0.8795	0.9599	0.8569	0.9017	0.9121
Ca	0.1930	0.2357	0.1853	0.2083	0.1252	0.1603	0.0000	0.0004	0.0023	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
BA	0.0029	0.0004	0.0021	0.0000	0.0000	0.0030	0.0121	0.0102	0.0159	0.0325	0.0211	0.0242	0.0154
CR	0.0009	0.0000	0.0008	0.0000	0.0004	0.0027	0.0028	0.0010	0.0000	0.0035	0.0000	0.0016	0.0000
TI	0.0012	0.0000	0.0000	0.0070	0.0035	0.0043	0.0269	0.0020	0.0004	0.0000	0.0000	0.0041	0.0045
MN	0.0019	0.0013	0.0000	0.0015	0.0021	0.0023	0.0020	0.0014	0.0008	0.0044	0.0000	0.0008	0.0000
FE	0.0043	0.0078	0.0117	0.0055	0.0039	0.0041	0.0037	0.0029	0.0014	0.0043	0.0009	0.0371	0.0043
NI	0.0011	0.0049	0.0000	0.0004	0.0000	0.0000	0.0002	0.0000	0.0040	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
NA	0.7644	0.7528	0.7479	0.7429	0.8513	0.7838	0.0381	0.0816	0.1151	0.0465	0.0870	0.0915	0.0961
SI	2.7837	2.7484	2.7995	2.7838	2.8524	2.8381	2.9323	2.9727	2.9544	2.9427	2.9614	2.9318	2.9433
AL	1.2255	1.2455	1.2044	1.2147	1.1495	1.1604	1.0385	1.0226	1.0452	1.0419	1.0542	1.0431	1.0533
H ₂ O	0.0000	0.0000	0.0013	0.0014	0.0008	0.0000	0.0000	0.0013	0.0000	0.0014	0.0015	0.0019	0.0000
	4.9888	5.0125	4.9857	4.9801	4.9990	4.9742	5.0212	5.0109	5.0192	5.0373	4.9830	5.0379	5.0291
FM	0.9997	0.9998	0.9009	0.8300	0.8852	0.9998	0.9997	0.7778	0.9993	0.8494	0.3827	0.9512	0.9996
AB	0.7902	0.7497	0.7966	0.7692	0.8631	0.8187	0.0380	0.0819	0.1155	0.0462	0.0922	0.0922	0.0954
OR	0.0103	0.0155	0.0111	0.0152	0.0100	0.0138	0.9620	0.9174	0.8822	0.9538	0.9078	0.9078	0.9046
AN	0.1995	0.2347	0.1923	0.2157	0.1269	0.1674	0.0000	0.0006	0.0023	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

VI - 4. Le feldspath plagioclase

C'est un minéral très accessoire dans les syénites du Rochail dont le pourcentage n'excède pas 5%. Cependant, dans la monzosyénite des Sources, ce pourcentage avoisine les 25% et permet de le classer parmi les diorites.

Compte tenu de l'altération prononcée du plagioclase des syénites du Rochail, peu d'analyses de ce matériel ont été effectuées.

4 - 1. Caractères minéralogiques

Dans les facies syénitiques, le plagioclase se présente soit en plages floues, fortement séricitisées (abondantes en particulier dans la monzosyénite des Sources), soit en inclusions épitaxiales au coeur des phénocristaux de feldspath alcalin (monzosyénites des Sources et du Lauvitel).

4 - 2. Composition chimique

Le plagioclase des syénites du Rochail et du granite encaissant est un oligoclase dont la teneur en anorthite varie entre 10 et 25%.

Dans le cas des plagioclases inclus dans les phénocristaux de feldspath potassique, la légère zonation chimique inverse des oligoclases traduit une perte en calcium (0.040 atomes par maille) du coeur du cristal déstabilisé (Fig.56).

La composition du plagioclase des diorites du Péou (An 25 à 40) pourrait refléter la nature plus basique du plagioclase précoce des syénites. De fait, Bellanger (1980) constate la nature Labrador (jusqu'à An 55) au coeur des plagioclases des vauugnériles des Cévennes médianes (M.C.) et un oligoclase An20 à leur périphérie.

4 - 3. Conclusion

Le plagioclase dont l'appartenance à la paragéne précoce ou à la paragéne de remplacement n'apparaît pas clairement pétrographiquement semble avoir été l'objet d'un ou plusieurs rééquilibrages successifs.

Le plagioclase basique originel (Labrador ou plus basique encore) dans les syénites du Rochail est déstabilisé au cours de la recristallisation du matériel basique. Il perd son calcium et cristallise sous une forme chimiquement plus stable (oligoclase). Ce nouveau plagioclase peut être considéré comme appartenant à la paragéne de remplacement avec la biotite et l'amphibole. Sa nature est semblable dans le granite encaissant.

La cristallisation de la troisième paragéne, à affinité alcaline achève d'altérer le plagioclase dont il ne subsiste dans certains facies (monzosyénite) que quelques individus disposés en épitaxie dans les phénocristaux de feldspath alcalin.

VI-5. Les minéraux accessoires

5-1. - L'APATITE

L'apatite est un minéral accessoire ($\approx 1\%$) fréquent dans les syénites du Rochail. Trois types d'apatite peuvent être décrits d'après des critères morphologiques :

- l'apatite trapue, de 150 à 200 μ de diamètre est émoussée. Sa fissuration serait un indice de son développement en présence d'une phase fluide (Wyllie et al., 1962). Elle est caractéristique des facies syénitiques porphyroïdes de Bellecote, contenant en abondance les reliques de pyroxène (et d'olivine ?). Les teneurs en apatite trapue décroissent rapidement dans les facies plus leucocrates. Elle est inexistante dans les monzosyénites et le granite encaissant. Cette apatite appartient à la paragenèse précoce des syénites du Rochail.

- l'apatite prismatique (50-20 μ) est bien cristallisée. Son prisme est court (2 à 3 fois son diamètre) et les inclusions très rares (biotite). Cette apatite est très fréquemment incluse dans l'amphibole, plus rarement le sphène et la biotite.

Cette forme d'apatite est la plus abondante. Elle est caractéristique de la paragenèse de remplacement de la paragenèse précoce.

- l'apatite aciculaire (5-10 μ) présente un grand allongement (50-150 μ). Sa forme canaliculée serait typique d'un refroidissement rapide. Elle est exclusivement associée au feldspath potassique tardif de la troisième génération. Les pourcentages en apatite aciculaire semblent être plus importants dans les facies basiques les plus leucocrates.

Seules deux analyses d'apatite ont été réalisées et ne permettent pas de tirer des conclusions (Tableau VII page 162). De surcroît, le type d'apatites pointées n'est pas mentionné par l'auteur (R. Oliver.). Cependant, des différences notables sur certains éléments en traces (Nd, Th, U ...) pourraient être autant de signes distinctifs des divers types d'apatite.

CONCLUSION

L'apatite semble être le meilleur indicateur de la présence de trois paragenèses successives dans la syénite du Rochail.

La grande stabilité de ce minéral permet la conservation de chacune des trois formes d'apatites.

Une étude spécifique des apatites, en particulier concernant leurs teneurs en éléments en trace et en terres rares (R.E.E.) permettrait de confirmer ou d'infirmer l'hypothèse selon laquelle les trois types d'apatite seraient chacun représentatif de trois paragenèses différentes.

5 - 2. LE SPHÈNE (Tableau VI page 162)

Le sphène est toujours présent dans les facies syénitiques du Lauvitel. Ce minéral est fréquemment automorphe et millimétrique, et inclut souvent l'apatite prismatique.

Termier (1896) note que certains sphènes précoces sont moulés par la biotite et l'amphibole, et d'autres plus récents moulent ces mêmes minéraux. Il conclut à l'apparition du sphène tout au long de la cristallisation de la roche hôte. Il admet, en particulier, une cristallisation presque simultanée du sphène et du microcline des syénites du Lauvitel.

Le sphène appartient à la paragénèse de seconde génération remplaçant la paragénèse précoce. Ce minéral pourrait être le produit de rétro-morphose de minéraux ferrotitanés précoces (ilménite et peut-être de sphène).

La cristallisation du sphène suppose une fugacité d'oxygène notable. D'autre part, la cristallisation presque simultanée de la hornblende et du sphène expliquerait la pauvreté en titane du premier minéral au profit du réseau du second dans des conditions de pressions fluides favorables.

VI-6. CONCLUSION A L'ETUDE MINERALOGIQUE

Les trois paragéneses successives des syénites du Rochail, déterminées à partir de l'étude pétrographique, correspondent à autant d'environnements différents pour l'enclave basique :

- la paragénesse précoce

Les minéraux de première génération (olivine (?), pyroxène, plagioclase basique, apatite trapue ...) sont pour la plupart totalement déstabilisés. On peut toutefois constater qu'ils sont typiques d'un matériel basique d'origine profonde. L'apatite trapue et le zircon sont les vestiges de cette première paragénesse.

- la paragénesse de remplacement

Les phases minérales constituant cette deuxième paragénesse sont issues du rééquilibrage thermodynamique des minéraux de la paragénesse précoce dans un environnement plus superficiel de la croûte. et/ou sont la conséquence de la contamination par l'encaissant granitique.

L'analyse du chimisme des biotites, et surtout des amphiboles permet d'établir que ces deux minéraux ont une cristallisation (sub)synchrone dans des conditions de subsolidus. L'équilibre du couple amphibole - biotite est imparfait notamment dans les facies les plus basiques (syénite porphyroïde). La pression est de l'ordre de 5 Kb et la température de 700°C. A ce stade, la teneur en eau du matériel basique est importante afin de faciliter la cristallisation de ces minéraux hydratés. L'évolution du chimisme des biotites (phlogopite à biotite magnésienne) et des amphiboles (Hornblende à actinote) dans les divers facies syénitiques du Rochail se traduit par un léger appauvrissement en Mg depuis les facies les plus basiques (syénite porphyroïde) vers les plus acides (monzosyénite).

Le plagioclase stable chimiquement au cours de cet épisode est un oligoclase. Il se substitue au plagioclase plus basique de la paragénesse précoce par perte de calcium ; cet élément étant incorporé dans la structure de l'amphibole.

Le sphène (re) cristallise aux dépens de l'ilménite et/ou de sphène précoces. Il intègre dans son réseau la plupart du titane disponible dans la roche, rendant déficitaire en Ti le réseau de l'amphibole. Le sphène est un important piège à terres rares (R.E.E.) dont l'étude des spectres comparativement à ceux de minéraux considérés comme synchrones serait intéressante.

L'apatite prismatique est typique de la paragénesse de remplacement

La paragénesse de remplacement pourrait signifier une reprise en enclave du matériel basique profond par le matériel granitique et sa remontée vers des niveaux plus superficiels de la croûte. Une autre hypothèse, peut-être complémentaire, ferait intervenir une contamination de l'enclave par l'encaissant.

- la paragénèse à tendance alcaline

Les minéraux de cette troisième génération pourraient traduire la granitisation du matériel basique enclavé par l'encaissant au cours du transport.

Le feldspath potassique est le plus largement représenté. Sa microclinisation pourrait avoir été occasionnée pendant la phase de refroidissement du massif (500-550°C).

La paragénèse alcaline pourrait être la conséquence d'échanges chimiques entre enclaves et encaissant. Cette contamination s'effectuerait à la fin de la phase magmatique. Elle est particulièrement notable dans les facies monzosyénitiques.

L'apatite aciculaire est associée exclusivement à ce feldspath potassique.

L'apatite est la seule phase minérale permettant une comparaison étroite entre les trois paragénèses successives des syénites du Rochail. En particulier, ces apatites des trois générations pourraient être typées en fonction de leur teneur en éléments en trace et en R.E.E.

SEPTIEME CHAPITRE

GEOCHIMIE

VII - 1. Classification de la syénite du Lauvitel et de son encaissant

- 1.1. Classification chimico-minéralogique de Streckeisen
- 1.2. Le diagramme de De la Roche
- 1.3. Le diagramme de De la Roche et Leterrier

VII - 2. Variations géochimiques des syénites

- 2.1. Les diagrammes de type Harker
- 2.2. Le diagramme A.F.M. de De la Roche
- 2.3. Le diagramme Al.F.M. de Besson-Fontailles

VII - 3. Conclusion à l'étude géochimique

GEOCHIMIE

Cette étude est basée sur le comportement des éléments majeurs d'un lot de 50 échantillons prélevés dans les principaux facies basiques et acide du massif du Rochail.

Ces échantillons ont été analysés par le C.R.P.G. de Nancy :

- granite du Rochail s.s.
- granite du Clapier
- syénite porphyroïde
- syénite à feldspath blastique
- monzosyénite porphyroïde
- monzosyénite feldspathique

A ces analyses ont été jointes celles des syénites du Péou de St Maurice et de Roche Noire et de leurs encaissants.

La liste de ces analyses et la localisation des échantillons correspondants sont consignés dans le tableau I pages 155 et 156.

VII-1. Classification de la syénite du Lauvitel et de son encaissant

La syénite du Lauvitel est un matériel calcique (6.96 à 9.22) magnésien (9.77 à 12.79) dont la particularité géochimique est due à ses forts pourcentages en K_2O (4.54 à 5.71).

Pécher et al. (à paraître) classent le granite du Rochail s.s parmi les granites alumino-sodiques à tendance sub-alkaline, avec le granite du Péou de St Maurice. Il note toutefois que le facies Clapier présente une tendance plus monzonitique car plus potassique, plus calcique et moins sodique que le granite du Rochail s.s.

I.1. Classification chimico-minéralogique de Streckeisen (1973)

La syénite du Rochail appartient au domaine des syénites et même à celui des syénites alcalines (syénite porphyroïde) dans le diagramme Or/Ab/An. La monzosyénite des Sources, plus riche en silice se trouve dans le champ des syénites quartzeuses.

Diagrammes chimico-minéralogiques de classification et d'évolution des roches éruptives

Figure n° 57 : diagramme de De la Roche et Leterrier (1966)

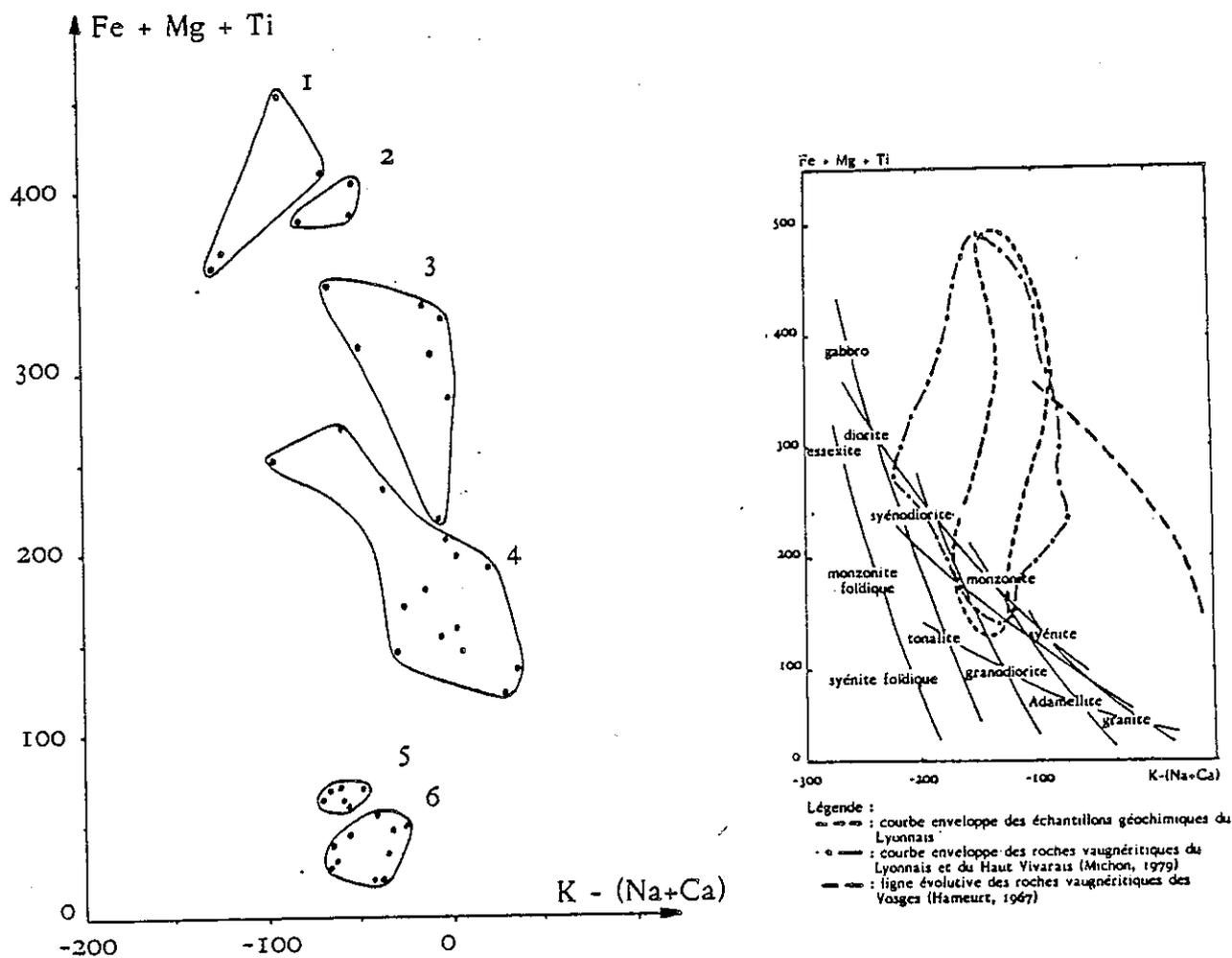
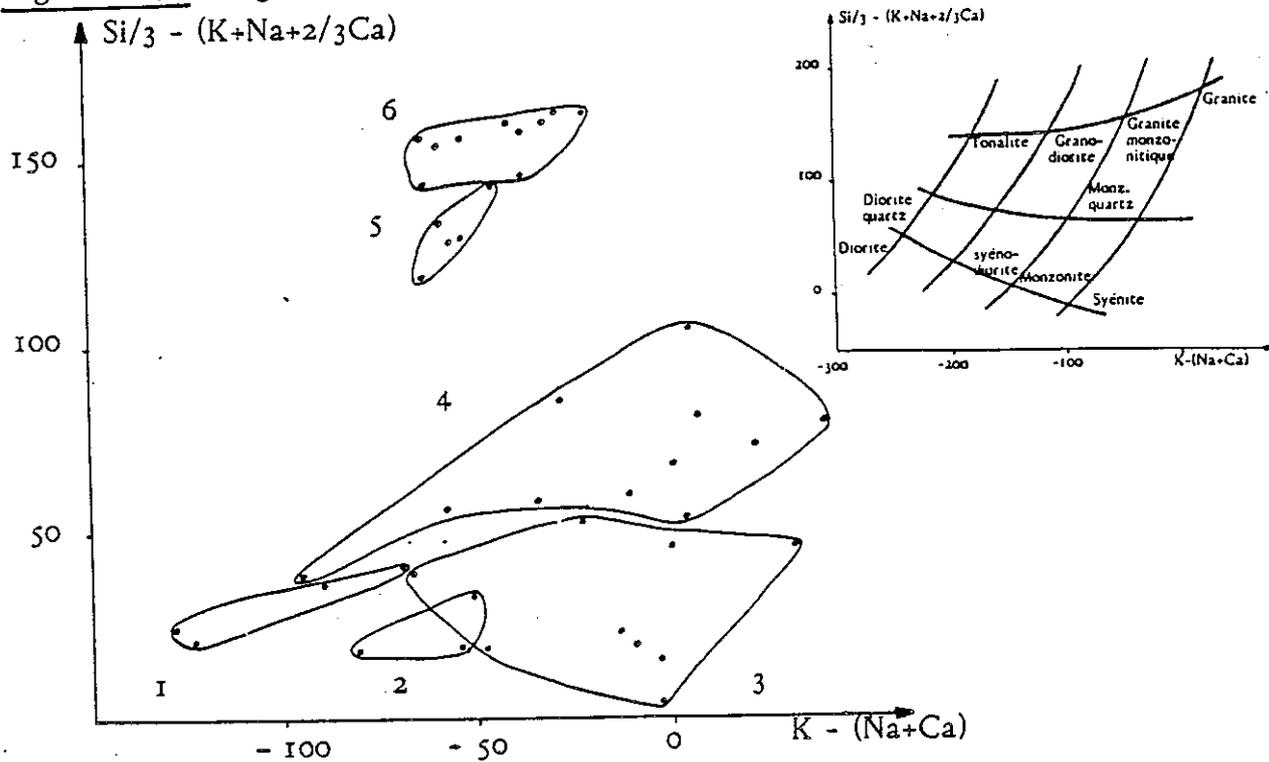


Figure n° 58 : diagramme de De la Roche (1966)



Légende page 142.

1.2. - le diagramme de De la Roche (1966) : figure 58.

$$\text{Si}/_3 - (\text{K} + \text{Na} + 2/3 \text{Ca}) / \text{K} - (\text{Na} + \text{Ca})$$

Ce diagramme chimico-minéralogique rend compte de la nature des roches en fonction de leurs teneurs relatives théoriques en quartz, orthose et plagioclase.

Le granite du Rochail S.L. s'apparente aux granites monzonitiques d'un point de vue pétrographique et chimique.

Le facies du Rochail s.s. présente des valeurs légèrement plus élevées pour les rapports $\text{Si}/_3 - (\text{K} + \text{Na} + 2/3\text{Ca})$ et $\text{K} - (\text{Na} + \text{Ca})$ que le facies Clavier. Ceci peut traduire des teneurs plus élevées en silice et feldspath potassique par rapport au plagioclase, ou plus vraisemblablement une grande quantité de biotite dans le facies Clavier plus riche en Fe et Mg.

Les syénites du Lauvitel appartiennent aux domaines des syénites pour les plus basiques, et des syénites quartziques pour les facies plus leucocrates. La répartition des analyses de chacun des facies suggère deux types d'évolution dont les origines seraient les facies les plus sombres :

- accroissement de la valeur de $\text{K} - (\text{Na} + \text{Ca})$ indépendamment de $\text{Si}/_3 - (\text{K} + \text{Na} + 2/3\text{Ca})$ traduisant un enrichissement en feldspath potassique du facies syénitique à feldspath blastique (Lauvitel, Bellecote) et de la monzosyénite du Lauvitel.

- augmentation simultanée des valeurs sur les deux axes reflétant la granitisation des syénites : enrichissement en silice et feldspath potassique (Refuge des Sources).

1.3. - le diagramme de De la Roche et Leterrier : figure 57.

$$\text{Fe} + \text{Mg} + \text{Ti} / \text{K} - (\text{Na} + \text{Ca})$$

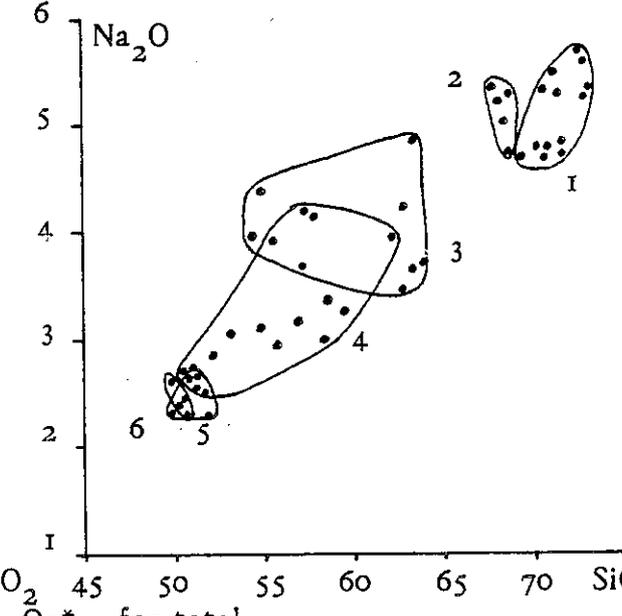
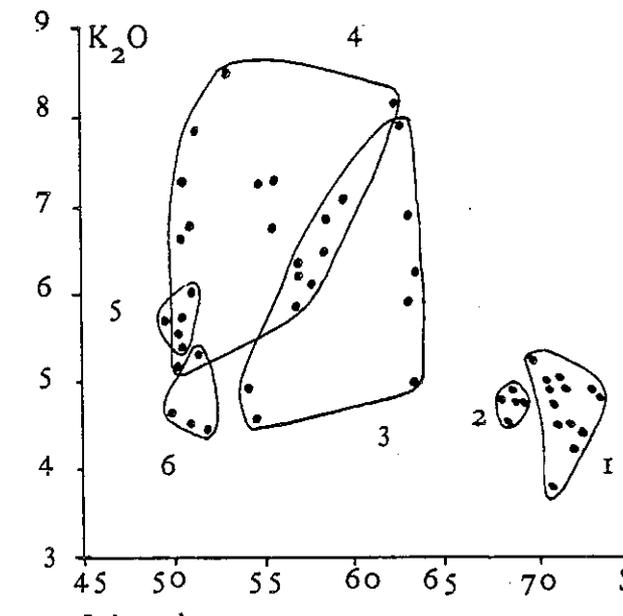
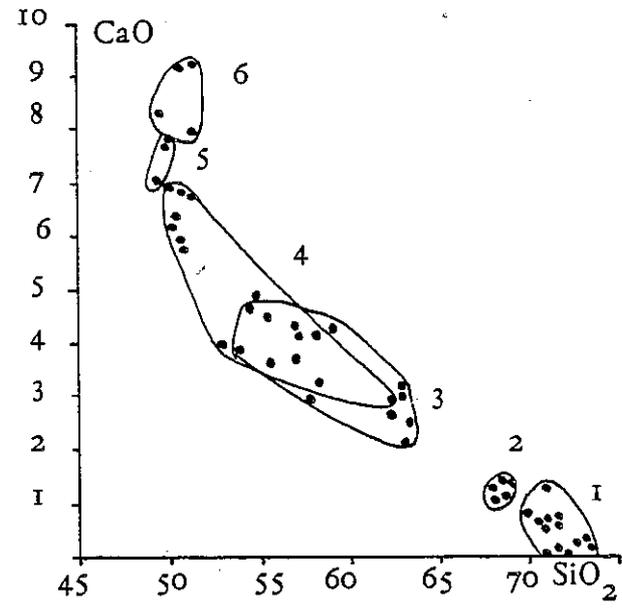
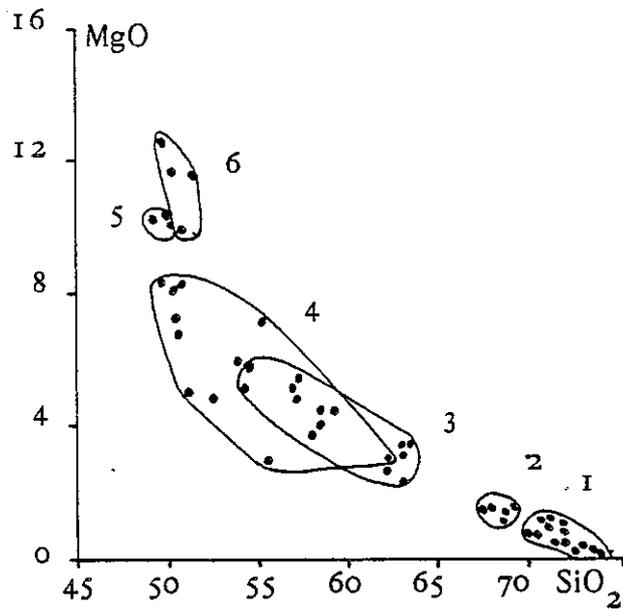
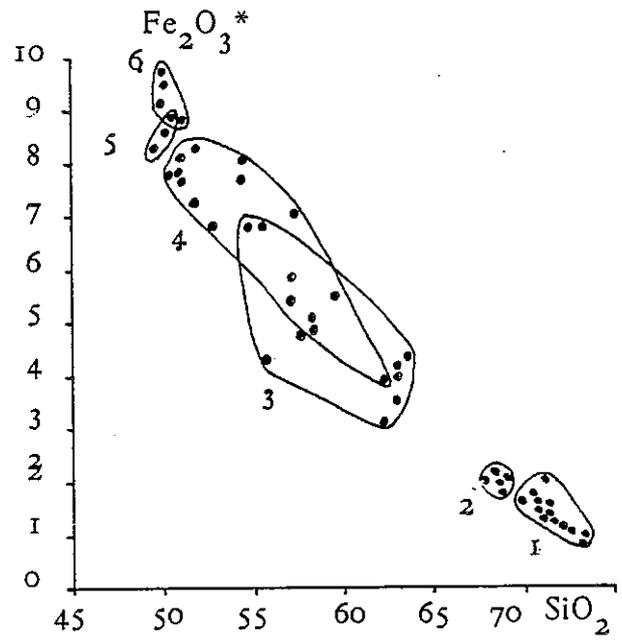
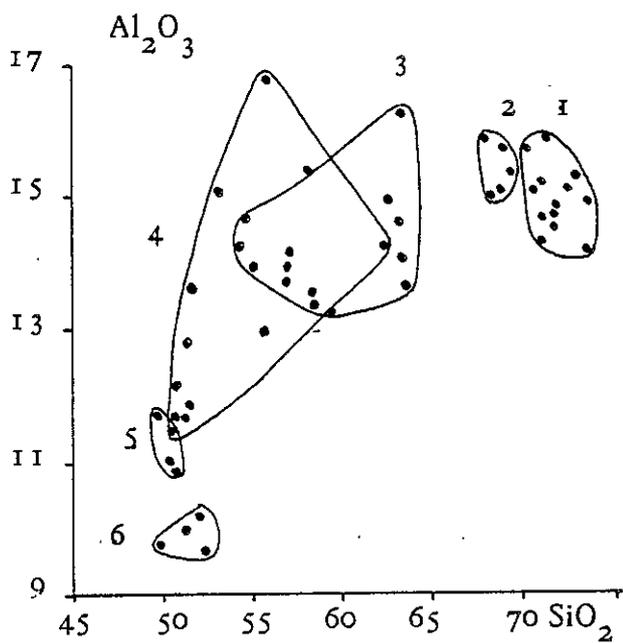
Ce diagramme, conjugué au précédent, tient compte de la teneur en minéraux ferromagnésiens de la roche (Fe + Mg + Ti).

Le granite du Clavier se distingue du granite du Rochail s.s. plus pauvre en biotite. Ils s'apparentent tous deux aux monzogranites (adamellite).

Les analyses des syénites du Rochail forment une suite continue dont les termes les plus leucocrates appartiennent aux syénites. Cette suite s'éloigne, vers les termes les plus sombres, du domaine des roches éruptives communes.

Le facies syénitique porphyroïde du Rochail présente dans ce diagramme un chimisme voisin des facies sombres des vaugnérinites du Lyonnais et des Vosges. Les termes plus leucocrates de la syénite du Rochail tendent vers le pôle potassique.

Figure n° 59 : Diagrammes de type Harker (1909)
Oxyde/SiO₂



Légende page 142.

Fe₂O₃* = fer total

VII - 2. Variations géochimiques des syénites

2.1. - les diagrammes de type Harker (1909) : figure 59.

Les analyses de syénite et de granite du massif du Rochail ont été reportées sur des diagrammes oxyde/SiO₂ de type Harker (1909).

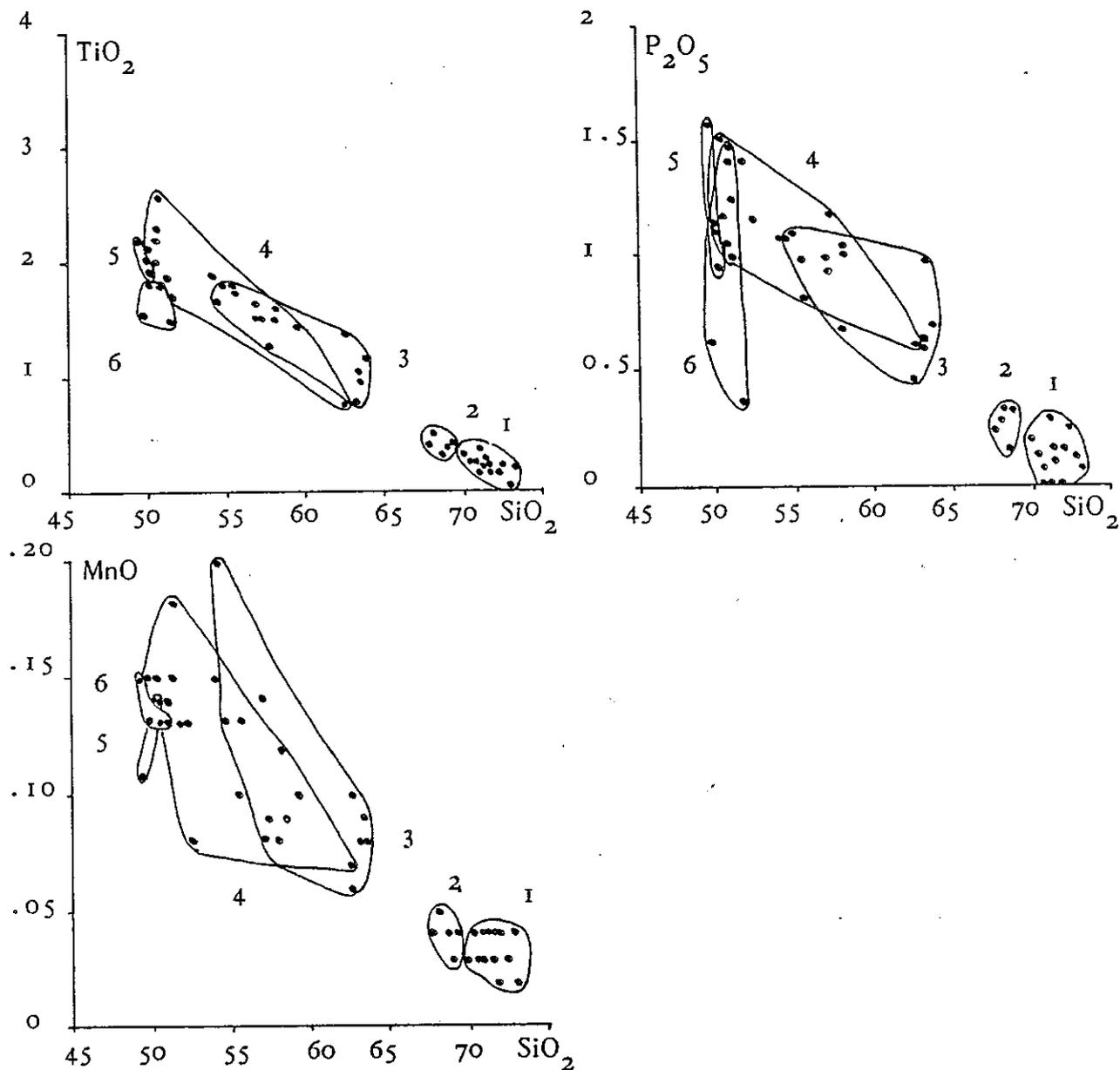
La plupart de ces diagrammes, hormis ceux faisant intervenir le potassium ou l'aluminium, font apparaître une bonne corrélation entre les oxydes et SiO₂. Ces "lignées" peuvent être décomposées en deux populations (Syénite+ Monzosyénite/granite) caractérisées par des droites de corrélation distinctes :

- la première population correspond aux syénites porphyroïdes et syénites à feldspath blastique.
- les monzosyénites du refuge des Sources étirent leur domaine depuis les facies syénitiques à feldspath blastique jusqu'au granite du Rochail s.s. Il est intéressant de noter la position intermédiaire du granite du Clapier entre le granite du Rochail s.s. et les monzosyénites du refuge des Sources. Les droites de corrélations entre chacun des oxydes et SiO₂ offrent des pentes négatives, à l'exclusion de Na₂O pour qui elle est positive.

Les diagrammes Al₂O₃/SiO₂ et surtout K₂O/SiO₂ présentent une forte dispersion des analyses de monzosyénite entre les syénites porphyroïdes et les granites.

Deux phénomènes apparaissent clairement :

- la droite de corrélation des facies syénitiques évolue indépendamment de SiO₂ en raison de la cristallisation des minéraux mafiques (Hornblende, biotite) et des minéraux accessoires (Sphène, apatite). Les points représentatifs du facies syénitique porphyroïde présentent une tendance vers ceux du facies syénitique à feldspath blastique : enrichissement en K et Al, appauvrissement corrélatif en Mg et Ca. Ceci est en parfait accord avec les observations pétrographiques et reflète l'importante blastèse du feldspath potassique dans les facies syénitiques du Lauvitel et de Bellecote et la disparition du pyroxène.
- la granitisation des facies syénitiques se traduit par une suite continue entre les termes acide et basique dans tous les diagrammes de type Harker. Les monzosyénites en sont les termes intermédiaires. On peut noter cependant qu'il existe un hiatus entre les monzosyénites et le granite du Clapier.



Légende commune aux figures concernant la géochimie

Courbe Enveloppe	Nature des échantillons	Nombre d'Ech.	Echantillon R.L.
1	Granite du Rochail s.s.	12	{100,101,108,109,110,111,121,127,(207),303,304,305,201,202,203,210,213.
2	Granite du Clapier	5	{204,205,206,209,211,212,214,215,216,218,219.
3	Monzosyénite des Sources	11	{102,104,105,106,116,118,119,120,123,124,129.
4	Syénite de la Cascade du Lauvitel (tout facies confondu)	11	{103,308,311.
5	Syénite à feldspath blastique	3	{306,307,309,310.
6	Syénite porphyroïde-Bellecote	4	

2.2. - le diagramme A.F.M. de De la Roche: figure 60.

Les échantillons de granite, monzosyénite et syénite du Rochail appartiennent virtuellement au domaine shoshonitique défini par Jakes et al. (1972). Cependant, si cette position est confirmée pour le facies syénitique à feldspath blastique et le facies syénitique porphyroïde, le granite encaissant ne peut être déterminé avec précision.

La suite continue d'analyses joignant ces extrêmes dans le diagramme A.F.M. est rectiligne et traduit la contamination en proportion croissante des termes basiques par l'encaissant granitique.

2.3. - le diagramme Al.F.M. de Besson - Fontailles (1968) : figure 61.

L'alumine étant reconnue plus stable que les alcalins notamment lors des phénomènes de potassification, ce diagramme est plus fiable que le précédent.

Le nuage des analyses du Rochail présente un étirement se calquant presque sur l'axe des cumulats calco-alcalins. La position des termes intermédiaires (facies monzosyénitiques du refuge des Sources notamment) est due à une contamination des termes extrêmes basiques par le granite.

Figure n° 60

Diagramme A.F.M
 $Fe_2O_3^* - Na_2O + K_2O - MgO$

- A : Domaine tholéitique
- B : Domaine calcoalcalin
- C : Domaine shoshonitique
(Jakes et al. 1972)

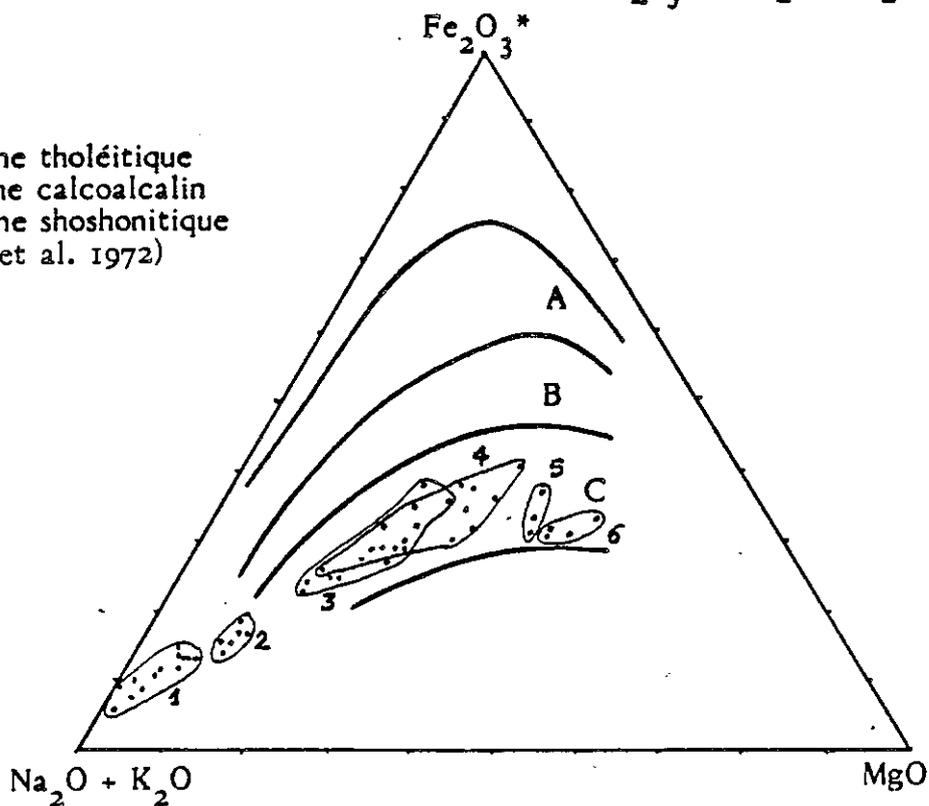
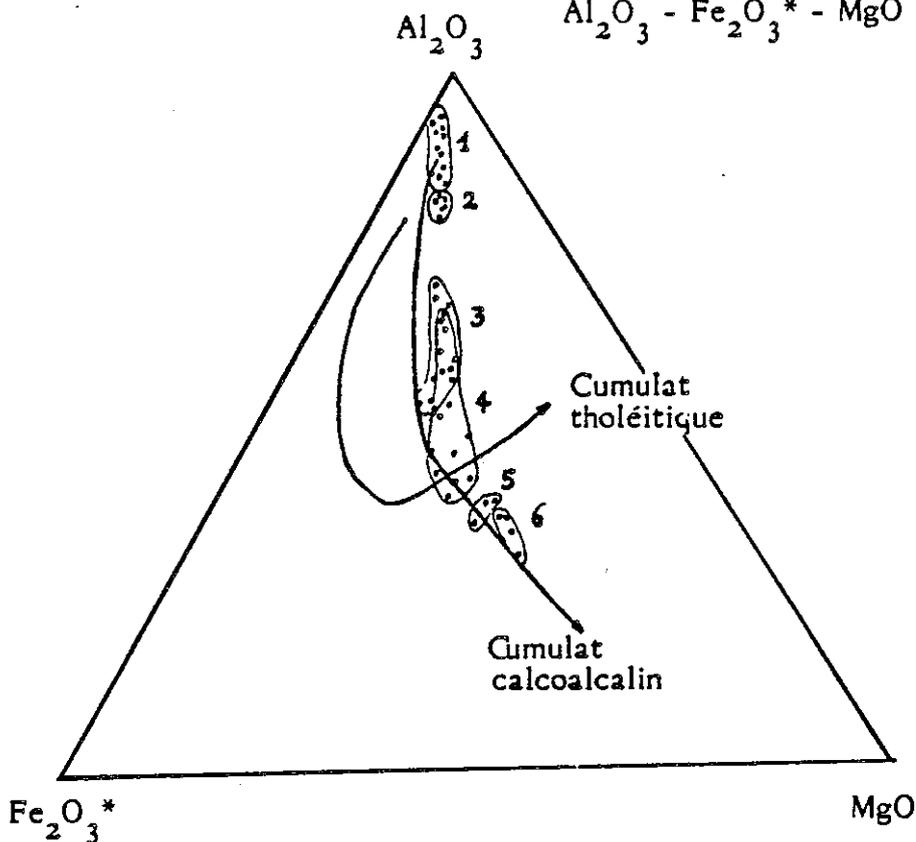


Figure n° 61

Diagramme de Besson et Fontelles (1968)
 $Al_2O_3 - Fe_2O_3^* - MgO$



$Fe_2O_3^*$: Fe_2O_3 total

Légende page 142.

VII-3. CONCLUSION A L'ETUDE GEOCHIMIQUE

Bien que sommaire, l'étude géochimique des échantillons du matériel basique et de son encaissant granitique permet de constater :

- la syénite porphyroïde qui possède le chimisme le plus semblable au matériel basique d'origine, et le granite du Rochail s.s. encaissant constituent deux pôles très distincts symptomatiques de deux matériels n'ayant aucune parenté :
 - . le matériel basique est à affinité shoshonitique
 - . le granite encaissant est alumino-sodique à tendance sub-alkaline.
- les facies monzosyénitiques, et en particulier ceux du Refuge des Sources, résultent de la granitisation au cours du transport des enclaves basiques par l'encaissant. Ceci se traduit sur les diagrammes par une droite joignant les pôles acide et basique.
- la granitisation s'exprime différemment au Lauvitel (et Bellecote) et au Refuge des Sources.

Dans le premier cas, l'enrichissement est uniquement dû au feldspath potassique (Cascade du Lauvitel, Bellecote). Sa blastèse en grandes plages pluricentimétriques dans la syénite pourrait être un indicateur de métasomatose. Ceci est à mettre en rapport avec les pourcentages particulièrement élevés en K_2O de la monzosyénite du Lauvitel.

Les échantillons de monzosyénite du Refuge des Sources sont des syénites ayant subi une granitisation : l'enrichissement se fait simultanément vers les pôles silice et potassique.

CONCLUSION GENERALE

La roche basique enclavée dans le granite du Rochail s.l. (N.W. du Haut Dauphiné), plus connue sous l'appellation de "syénite du Lauvitel" (Termier, 1896) affleure en de nombreux endroits dans le massif, et notamment :

- en bordure du lac Lauvitel où cette roche a été décrite,
- à Bellecote, au Sud du massif,
- au refuge des Sources, sur le flanc occidental du massif.

L'ensemble des enclaves de "syénite du Lauvitel" observées peut être scindé en deux groupes, tenant compte de la morphologie des enclaves et du niveau structural de mise en place, suggéré entre autre par les facies pétrographiques du granite encaissant (Rochail s.s. ou Clapier).

- les enclaves en essaim

Ces enclaves se trouvent dans le granite rosé et porphyroïde du Clapier, lui-même en position apicale par rapport au granite du Rochail s.s. avec lequel il est en continuité.

Le coeur hectométrique et massif de l'affleurement est entouré d'une ceinture de 3 à 10m d'épaisseur constituée d'enclaves classées par taille décroissante (rào.1m) et par leur forme de plus en plus régulière.

La morphologie en essaim des enclaves résulte de la fragmentation mécanique pendant le transport, des masses basiques par le magma granitique se mettant en place à l'état visqueux.

Les déformations et l'allure ovoïde fréquentes des enclaves semblent dues à des épisodes successifs d'états sous contraintes anisotropes à partir du stade magmatique (milieu visqueux) jusqu'aux stades élastiques terminaux (état solide, cassant).

- les enclaves en masses compactes

Ces enclaves sont de taille importante (20 à 100m de long), fréquemment étirées suivant un axe N-S. Elles sont spécifiques du versant oriental du massif. L'encaissant est un granite gris, isogranulaire à grain moyen, ou granite du Rochail s.s., qui constitue les 9/10^e du massif. Les relations initiales entre les matériels acide et basique sont très souvent effacées par des événements tectoniques tardi ou post magmatiques.

Ce second type de comportement des enclaves, massives et peu fragmentées au cours du transport magmatique, est caractérisé par la diversité des variétés pétrographiques qui les constituent. La disposition de ces facies n'est pas aléatoire.

- la monzosyénite est visible sur l'ensemble des affleurements de Bellecote, du Lauvitel et des Sources. C'est une roche à grain moyen et d'aspect dioritique. Ce facies possède des contacts avec l'encaissant intacts de toute déformation ultérieure à la mise en place magmatique. Sa position structurale est en bordure d'enclave.
- la syénite à feldspath blastique est macroscopiquement hétérogène et constitue les 4/5^e des affleurements du Lauvitel et de Bellecote. Elle est caractérisée par de nombreuses blastèses de feldspath potassique monocristallin et très poéclitique formant des yeux (3 à 10 cm) séparés par des septas riches en minéraux ferromagnésiens.
- le facies syénitique de contact jalonne les limites entre les deux facies basiques décrits précédemment. L'amphibole est xénomorphe et la biotite en petites lattes saines inframillimétriques. Ce facies est partiellement recristallisé et probablement la conséquence de déformations tardi-magmatiques ayant affecté ces contacts.
- la syénite porphyroïde affleure sur quelques m² à Bellecote, au sein de la syénite à feldspath blastique. Elle est macroscopiquement homogène et contient un certain nombre d'ocelles fibroradiées (1-3 cm), restes de minéraux précoces rétro-morphosés. L'amphibole domine quantitativement la biotite. Elle est sub-automorphe à automorphe et conserve fréquemment la trace sub-orthogonale des clivages du pyroxène pré-existant.

L'étude pétrographique et minéralogique a permis de mettre en évidence l'existence de trois paragénèses successives, présentes en diverses proportions dans chacun des facies de la "syénite du Lauvitel", et représentatives de trois étapes dans la cristallisation du matériel basique.

- la paragénèse précoce (olivine (?), clinopyroxène, plagioclase calcique, apatite trapue, zircon, ilménite (?)) donne une idée de la nature très basique du matériel syénitique avant qu'il soit emballé dans le granite intrusif du Rochail. Cette paragénèse est partiellement conservée dans la syénite porphyroïde de Bellecote.

Les minéraux de cette paragenèse sont pour la plupart rétro-morphosés : leurs conditions (P et E) de cristallisation ne peuvent être évaluées avec précision. Toutefois, le cortège des minéraux pré-cités évoque des roches initiales originaires des zones profondes de la croûte ancienne, voire même plutôt du manteau supérieur ancien.

- la paragenèse de remplacement (actinote/hornblende actinolitique, biotite phlogopitique/biotite, plagioclase oligoclase, sphène, apatite prismatique ...) résulte de la rétro-morphose des minéraux de la paragenèse précoce dans des conditions créées par la reprise en enclave du matériel basique pré-existant au sein d'un magma granitique : si l'effet thermique et chimique de cette intrusion est évidemment important, il est permis de se demander si des changements de température et de pression hydrostatique dus à d'importants déplacements verticaux ne doivent pas être aussi pris en compte.

le chimisme de la biotite et de l'amphibole évolue en fonction de la composition chimique de la roche hôte, c'est-à-dire depuis la syénite porphyroïde jusqu'aux monzosyénites des Sources (et au granite du Rochail) corroborant ainsi les observations de Leterrier et Debon (1978).

Cette paragenèse de remplacement est caractéristique de la "syénite du Lauvitel" en particulier, et d'un grand nombre d'enclaves décrites dans des environnements granitiques (Vagnérites du Massif Central, enclaves du Quérigut (Pyrénées), Vosgésites des Ballons (Vosges), etc...)

- la paragenèse à affinité alcaline leucocrate (feldspath potassique, albite, quartz, apatite aciculaire ...) apparaît de plus en plus abondante à partir du faciès syénitique le plus basique jusqu'aux monzosyénites. Elle est spécifique des affleurements du Lauvitel. Cette paragenèse pourrait être tardi-magmatique, c'est-à-dire encore contemporaine d'un milieu granitique chimiquement et thermiquement actif. Elle serait, au moins en partie, la conséquence de phénomènes métasomatiques.

* *

*

L'étude des affleurements dans le Rochail fait apparaître des rapports solide/fluide plutôt que des rapports fluide/fluide entre les enclaves et l'encaissant, et ceci pour des raisons essentiellement morphologiques.

Par ailleurs, la géochimie a permis d'écarter l'hypothèse d'une étroite parenté acide-basique dans le massif du Rochail :

Il existe deux termes indépendants : si l'on considère les deux termes extrêmes, l'un est acide et à tendance sub-alcaline (le granite encaissant), l'autre basique, calcique et magnésien, appartenant au domaine des shoshonites.

Toutefois ce dernier terme basique que représente la syénite porphyroïde de Bellecote n'est pas forcément représentatif du matériel souche originel mais semble constituer l'élément le moins remanié, par rapport aux autres facies syénitiques du Rochail, au cours de l'histoire magmatique acide-basique.

Les facies intermédiaires entre ces termes extrêmes sont en revanche liés à des phénomènes de contamination donnant l'illusion d'une filiation acide-basique.

Le modèle, sans doute trop simple, retenu en conclusion de ce travail serait celui-ci :

les enclaves basiques enallogènes probablement cristallisées sont transportées par le magma acide, et progressivement déformées et partiellement contaminées par celui-ci.

le matériel basique est d'origine profonde, peut-être supra - mantellique, à texture parfois cumulative comme semblent le suggérer la pétrographie et la géochimie.

la mise en place basique s'est effectuée à la faveur de fractures hercyniennes d'ampleur régionale. Le magma basique serait alors sous forme de filons dans un encaissant granitique ou gneissique.

Des phénomènes anatectiques sont apparus en raison de l'échauffement de ce bâti avec intervention chimique ou de phases fluides.

Le magma acide issu de la remobilisation de l'encaissant a entraîné et disloqué au cours de son ascension les filons basiques cristallisés.

Le matériel basique a subi pendant ce transport un rééquilibrage des minéraux pré-existants, lié aux nouvelles conditions imposées par le contexte visqueux acide, et un début de contamination particulièrement visible dans le secteur à enclaves en essaim (refuge des Sources).

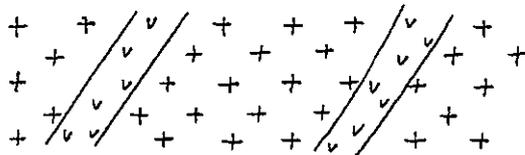
La contamination devient ensuite importante et se traduit par la cristallisation de minéraux clairs, en particulier en bordure d'enclave. On aurait dans ce cas un phénomène nettement métasomatique.

Par ailleurs, et indépendamment des enclaves syénitiques, les enclaves gneissiques sont rares et disposées sur le pourtour du massif du Rochail. Elles ont probablement été arrachées à l'encaissant lors de la phase finale de mise en place du batholite du Rochail.

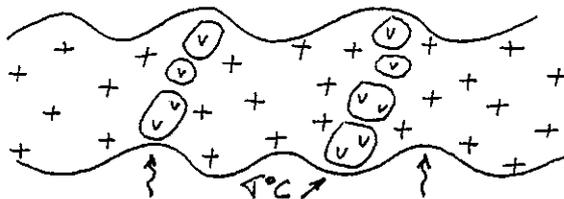
L'encaissant acide originel pourrait avoir été plus hétérogène qu'il n'y paraît actuellement., ceci en raison de la présence de facies de type rhyolitique et granophyrique au sein du granite du Rochail, comme le suggère l'étude pétrographique.

D'un point de vue plus général, la répartition des enclaves basiques en milieu granitique dans les Alpes se fait selon un axe approximatif Nord-Sud, mais remanié par la tectonique alpine. Cette répartition pourrait être comparée aux alignements NE-SW d'enclaves basiques particulièrement nets dans le massif de la Margeride (Massif Central ; Couturié, 1977). Cette remarque appelle à des études synthétiques sur ces phénomènes, étendues à de larges régions avoisinantes, dans le Sud-Ouest de l'Europe.

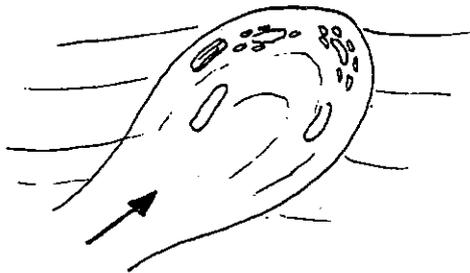
* *
*



Mise en place de filon(s) basique(s) en milieu granitique et/ou gneissique à une profondeur indéterminée. Fin de cristallisation de la paragenèse précoce.



Réjuvenation thermique et mécanique des matériels acide et basique au cours d'un diastrophisme. Déstabilisation de la paragenèse précoce.



Mise en place magmatique du système encaissant acide visqueux + enclaves basiques

ANNEXES
ET
BIBLIOGRAPHIE

Tableau n° I

Tableau n° I : Composition chimique des roches syénitiques du Rochail et de leurs encaissements

REF	Cascade du Lauvitel										Refuge des Sources																		
	RL100	RL101	RL102	RL103	RL104	RL105	RL106	RL108	RL109	RL110	RL111	RL112	RL113	RL114	RL115	RL116	RL118	RL119	RL120	RL121	RL123	RL124	RL127	RL129	RL201	RL202	RL203	RL204	
N-ORDRE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24					
SiO2	74.18	76.56	51.88	58.12	52.89	58.96	51.14	71.68	73.48	72.38	73.16	62.61	58.18	58.59	51.61	72.66	55.72	55.49	78.96	57.97	69.18	68.85	67.82	54.18					
AL2O3	13.86	15.19	12.76	11.83	15.19	11.64	11.88	14.63	15.81	15.15	14.89	14.99	11.41	12.12	13.54	15.34	16.75	12.92	14.36	15.46	15.48	15.72	15.79	14.17					
FE2O3	0.75	1.79	0.85	0.85	0.85	0.87	0.87	1.64	1.81	1.14	0.91	3.87	9.48	8.93	5.63	1.83	4.41	6.86	1.58	4.82	2.17	1.91	2.88	7.69					
FE0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00					
MnO	0.22	0.76	7.25	18.32	4.91	8.17	6.91	8.94	8.15	8.31	8.35	2.96	8.16	8.89	5.81	8.47	3.83	7.14	8.96	3.75	1.51	1.35	1.46	5.96					
CaO	0.25	0.63	5.77	6.96	3.98	5.87	6.81	8.13	8.19	8.81	8.31	2.67	1.16	6.41	6.77	8.25	3.66	4.54	8.58	2.95	1.38	1.15	1.38	3.87					
MgO	3.61	3.89	1.58	1.39	2.88	1.68	1.72	3.92	4.41	4.77	4.32	2.97	1.16	1.25	1.53	4.67	2.98	1.95	3.82	3.16	3.88	4.29	4.38	2.93					
K2O	5.97	4.98	6.77	5.54	8.48	7.31	6.87	5.82	4.85	4.29	4.90	8.28	5.11	1.99	7.88	4.45	7.29	6.77	4.81	6.28	4.78	4.78	4.81	4.95					
TiO2	0.84	0.29	2.29	2.02	2.12	2.21	2.56	1.31	0.21	0.15	0.85	8.76	2.13	1.99	1.84	8.22	1.73	1.78	8.22	1.25	0.41	0.38	0.41	4.85					
MnO	0.82	0.84	0.14	0.13	0.88	0.13	0.15	0.84	0.82	0.82	0.84	0.86	0.15	0.15	0.18	0.83	0.13	0.18	0.83	0.08	0.84	0.83	0.84	0.15					
P2O5	0.89	0.13	1.07	1.14	1.17	1.48	1.25	0.15	0.86	0.14	0.18	0.47	1.16	1.18	0.99	0.23	0.81	0.98	0.86	0.69	0.29	0.17	0.23	1.12					
H2O+	0.62	0.99	2.54	1.82	1.49	1.26	2.54	1.12	0.92	1.18	0.75	1.17	2.99	2.63	4.39	0.67	3.88	1.32	1.43	2.28	1.44	1.82	1.91	3.88					
H2O-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00					
TOTAL	99.61	99.24	99.38	100.16	99.21	98.58	99.82	99.58	100.23	99.46	98.98	99.93	99.57	100.00	99.37	100.02	100.31	99.85	98.73	98.53	100.32	99.65	100.31	99.98					
FE2O3T	0.75	1.79	0.85	0.85	0.85	0.87	0.87	1.64	1.81	1.14	0.91	3.87	9.48	8.93	5.63	1.83	4.41	6.86	1.58	4.82	2.17	1.91	2.88	7.69					
FE0T	0.68	1.61	7.25	8.72	6.17	7.88	7.98	1.48	0.91	1.03	0.82	2.76	8.53	8.84	5.87	0.93	3.97	6.17	1.42	4.34	1.95	1.72	1.87	6.92					
S.I	2.10	6.76	31.74	39.74	22.72	33.78	38.46	8.28	1.45	2.98	3.37	17.52	35.54	33.66	25.76	4.47	17.63	32.48	8.72	21.49	12.54	11.12	11.66	28.71					
FT/NG	3.87	2.12	1.88	0.85	1.26	0.87	1.16	1.57	4.86	3.31	2.34	8.93	1.85	8.99	1.01	1.97	1.31	0.86	1.48	1.16	1.29	1.27	1.28	1.16					
M.I	75.42	67.95	49.98	45.88	55.67	46.44	53.68	41.89	85.84	76.88	78.08	48.28	51.11	49.84	58.28	66.36	56.71	46.37	59.78	53.64	56.48	56.81	56.18	53.73					
MAK	9.58	8.87	8.35	6.93	18.54	8.99	7.79	8.94	9.26	9.86	9.22	11.17	6.27	7.91	9.37	9.12	18.19	8.72	8.63	9.36	8.58	9.07	9.19	7.88					
A	91.46	78.91	36.55	26.68	48.76	37.88	34.34	78.72	89.74	87.15	88.75	66.12	27.31	32.91	48.18	86.72	59.28	39.58	78.37	53.65	71.24	74.72	73.39	37.96					
F	6.44	14.33	31.71	33.58	28.52	29.22	35.19	13.88	8.81	9.87	7.88	16.36	37.16	33.44	26.86	8.81	23.89	28.82	12.91	24.86	16.22	14.16	14.95	33.34					
M	2.18	6.76	31.74	22.72	33.78	38.46	8.28	1.45	2.98	3.37	3.37	17.52	35.54	33.66	25.76	4.47	17.63	32.48	8.72	21.49	12.54	11.12	11.66	28.71					
AL	93.93	86.49	46.82	36.68	57.82	43.38	44.21	85.85	93.41	91.98	92.34	72.37	48.88	42.91	57.33	91.65	78.53	49.25	85.77	65.65	81.64	83.67	82.58	52.38					
F	4.57	9.18	26.58	29.88	23.48	28.34	29.91	8.66	5.66	6.22	5.37	13.34	38.36	28.45	21.45	5.54	16.71	23.53	8.49	18.42	10.35	9.15	9.79	25.39					
M	1.49	4.33	26.68	34.32	18.78	38.38	25.89	5.51	8.93	1.88	2.29	14.29	29.84	28.64	21.21	2.81	12.76	27.22	5.73	15.92	8.81	7.19	7.64	22.83					

γ_R : granite du Rochail s.s.
 γ_C : granite du Clapier
 γ_B : monzosyénite
 γ_F : syénite s.l.
 γ_{BL} : syénite à feldspath blastique
 γ_{FP} : syénite porphyroïde

Tableau n° I (suite)

Tableau n° I : Composition chimique des roches syénitiques du Rochail et de leurs encaissements

Bellecote

Refuge des Sources

REF	RL205	RL206	RL207	RL209	RL210	RL211	RL212	RL213	RL214	RL215	RL216	RL218	RL219	REF	RL303	RL304	RL305	RL306	RL307	RL308	RL309	RL310	RL311
N.ORDRE	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	N.ORDRE	38	39	40	41	42	43	44	45	46
SiO2	58.38	58.41	71.81	54.41	68.68	57.31	59.35	71.10	57.17	62.59	63.25	63.72	63.27	SiO2	70.82	71.72	71.23	51.88	49.77	58.33	51.84	52.82	49.58
Al2O3	13.48	13.38	14.89	14.67	15.17	13.83	13.25	14.75	13.64	14.78	14.58	13.59	14.88	Al2O3	15.26	14.83	15.78	18.27	9.81	11.63	18.84	9.69	11.66
Fe2O3	5.83	4.84	1.26	8.85	2.84	5.43	5.51	2.18	7.11	3.96	4.85	4.41	4.16	Fe2O3	1.73	1.45	1.39	8.52	9.19	8.67	7.78	7.38	8.31
FEO	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	FEO	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88
MgO	3.93	4.46	0.59	5.16	1.23	4.81	4.44	1.18	5.88	2.75	3.33	3.52	3.28	MgO	1.14	0.88	0.68	11.51	12.79	10.87	9.95	9.77	10.23
CaO	4.14	3.32	8.73	4.68	1.45	3.78	4.23	1.38	4.38	2.85	2.91	2.51	3.18	CaO	0.81	0.54	0.68	7.82	8.29	7.84	9.17	9.22	7.88
Mn2O	2.35	2.83	3.86	3.41	4.88	2.16	2.28	3.89	5.89	7.98	5.95	6.32	6.96	Mn2O	4.41	4.33	4.68	1.58	1.31	1.78	1.75	1.84	1.58
K2O	6.53	6.85	4.92	4.62	4.86	6.36	7.13	3.73	5.89	7.98	5.95	6.32	6.96	K2O	4.93	4.52	4.52	5.29	4.65	5.34	4.57	4.58	5.71
TiO2	1.49	1.55	0.19	1.66	0.33	1.48	1.44	0.41	1.62	1.34	1.82	1.13	0.98	TiO2	0.28	0.26	0.24	1.46	1.56	1.84	1.81	1.78	2.19
P2O5	8.12	8.09	0.83	8.28	0.84	8.88	8.18	0.84	8.14	8.87	8.88	8.89	8.18	P2O5	0.93	0.84	0.84	0.36	0.15	0.14	0.13	0.13	0.11
H2O+	1.82	1.81	0.88	1.12	0.89	0.92	0.89	0.26	0.98	0.42	0.62	0.72	0.65	H2O+	0.88	0.88	0.88	0.36	0.63	0.94	1.49	1.48	1.56
H2O-	3.23	3.54	1.84	2.12	1.17	3.81	1.52	1.23	1.61	1.46	1.28	1.77	1.24	H2O-	1.07	0.84	0.85	1.81	1.84	1.85	0.98	0.96	1.12
TOTAL	99.78	99.48	99.48	100.08	99.34	99.89	100.14	99.99	100.13	100.15	100.29	100.48	100.42	TOTAL	99.68	99.41	99.93	99.35	99.19	99.55	98.69	98.61	98.97
FE2O3T	5.83	4.84	1.26	8.85	2.84	5.43	5.51	2.18	7.11	3.96	4.85	4.41	4.16	FE2O3T	1.73	1.45	1.39	8.52	9.19	8.67	7.78	7.38	
FEO	4.53	4.36	1.13	7.25	1.84	4.89	4.96	1.89	6.48	3.56	3.65	3.97	3.74	FEO	1.56	1.31	1.25	7.49	8.27	7.88	6.98	6.64	
S.I	22.67	25.28	5.62	25.25	18.24	26.48	23.61	11.84	25.45	16.54	20.63	21.43	19.78	S.I	9.47	7.97	6.15	44.98	47.33	48.42	42.79	42.94	
FT/MG	-1.15	0.98	1.92	1.48	1.49	1.82	1.12	1.68	1.26	1.38	1.89	1.13	1.14	FT/MG	1.37	1.48	1.84	0.65	0.65	0.77	0.78	0.68	
M.I	53.53	49.41	65.78	58.48	59.88	58.48	52.76	61.56	55.73	56.45	52.26	53.88	53.38	M.I	57.73	59.73	64.79	39.41	39.27	43.66	41.24	48.47	
NAVK	8.88	8.88	8.78	8.83	8.94	8.52	9.41	7.62	8.48	18.31	9.17	9.94	9.56	NAVK	9.34	8.85	9.12	6.59	5.96	7.88	6.32	6.34	
A	31.22	58.18	83.59	39.38	74.46	46.77	58.83	71.28	42.49	62.82	56.88	54.42	57.65	A	77.59	88.78	82.53	25.75	22.86	28.26	27.18	27.87	
F	26.11	24.62	18.88	35.45	15.29	26.83	26.37	17.68	32.86	21.44	22.58	24.16	22.58	F	12.94	11.83	11.32	29.26	38.61	31.32	38.83	29.19	
H	22.67	25.28	5.62	25.25	18.24	26.48	23.61	11.84	25.45	16.54	20.63	21.43	19.78	H	9.47	7.97	6.15	44.98	47.33	48.42	42.79	42.94	
AL	61.45	68.28	89.62	54.18	83.19	58.58	58.58	82.77	54.38	69.22	67.64	64.47	66.59	AL	84.98	87.16	89.18	35.89	31.78	39.42	37.22	37.12	
F	28.64	19.63	6.83	26.76	18.87	28.77	21.98	18.61	25.47	17.37	16.91	18.83	17.81	F	8.67	7.67	7.86	25.58	26.79	26.45	25.89	25.47	
H	17.91	28.87	3.55	19.86	6.74	28.44	19.68	6.62	28.22	13.41	15.45	16.78	15.88	H	6.35	5.17	3.84	39.33	41.43	34.13	36.89	37.43	

Tableau II (suite)

Bellecote																										
Facies Monzosyénite						Syénite porphyroïde						Syénite à feldspath blastique														
Ech. RL		206		214		230		306		307		310		308		311										
(c)	(e)	(c)	(e)	(c)	(e)	(c)	(e)	(c)	(e)	(c)	(e)	(c)	(e)	(c)	(e)	(c)	(e)									
S102	51.70	51.85	49.56	48.51	48.68			54.12	52.41	53.78	52.58	52.22	56.85	51.64	54.46	52.58	51.87	51.36	53.62	51.73	53.35	54.71	54.28	53.39	52.63	
AL203	3.72	3.95	5.73	5.68	6.87			2.92	3.54	2.76	3.72	3.91	1.42	2.54	1.70	4.30	5.20	5.13	3.41	5.24	4.24	2.57	3.82	3.93	4.46	
FE203																										
FEO	11.65	12.86	13.96	14.88	13.51			8.26	9.81	7.83	8.38	8.21	7.89	8.91	8.82	11.22	11.52	11.86	18.41	18.99	18.45	9.97	9.19	9.92	18.19	
H60	16.81	15.66	14.19	14.87	14.82			17.89	17.83	17.83	18.37	19.19	28.38	18.66	18.97	15.93	15.67	16.12	16.74	15.95	16.35	17.90	17.54	16.88	16.41	
CA0	12.88	12.24	11.84	12.18	12.18			13.89	12.65	12.88	11.49	12.63	13.18	11.97	12.87	12.52	12.29	12.22	12.54	12.82	12.36	12.42	12.42	12.14	12.18	
MA20	1.85	1.11	1.19	1.32	1.32			8.27	9.97	8.45	1.83	0.88	0.32	0.73	0.44	0.76	1.15	1.25	0.62	1.10	0.98	0.63	0.69	0.76	1.85	
X20	8.42	8.57	8.54	8.64	8.66			0.18	0.32	0.18	0.42	0.31	0.19	0.26	0.18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8.59	
F102	8.53	8.46	8.53	8.89	1.81			0.82	0.65	0.27	0.45	0.24	0.48	0.24	0.38	0.51	0.58	0.58	0.31	0.55	0.56	0.32	0.48	0.47	-	
MND	8.48	8.32	8.48	8.37	8.37			0.34	0.28	0.21	0.24	-	0.25	0.26	0.85	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
CR203	-	8.82	-	-	-			0.16	0.18	0.15	0.28	0.89	0.87	0.82	0.83	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
N10	-	8.82	-	8.83	-			-	-	8.15	8.28	8.28	8.02	8.24	8.85	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TOTAL	97.64	98.86	98.88	98.55	98.54			97.16	97.68	96.41	96.92	96.88	99.21	97.47	98.67	97.74	97.18	97.72	97.65	97.58	98.29	97.46	97.46	97.44	97.43	
S1	7.485	7.459	7.248	7.112	7.887			7.486	7.488	7.689	7.511	7.481	7.758	7.638	7.677	7.516	7.365	7.372	7.648	7.415	7.558	7.745	7.688	7.595	7.519	
AL	0.634	0.672	0.987	0.982	1.042			0.189	0.595	0.466	0.627	0.668	0.232	0.426	0.282	0.726	0.884	0.868	0.573	0.885	0.788	0.429	0.585	0.668	0.751	
CR	-	0.882	-	-	-			0.818	0.811	0.817	0.823	0.818	0.888	0.882	0.883	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
FE3	-	-	-	-	-			0.982	1.875	0.938	0.933	0.984	0.821	1.061	1.048	1.343	1.389	1.328	1.248	1.317	1.258	1.862	1.898	1.181	1.217	
FE2	-	1.488	1.457	1.705	1.645			-	-	0.817	0.823	0.823	0.882	0.827	0.886	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
N1	-	0.882	-	0.884	-			-	-	0.841	0.824	0.825	0.829	0.829	0.831	0.181	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
MN	0.849	0.839	0.857	0.846	0.846			0.841	0.824	0.825	0.829	0.829	0.829	0.831	0.181	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
H6	3.458	3.371	3.898	3.875	3.216			3.773	3.793	3.885	3.918	3.884	4.188	3.968	3.986	3.399	3.368	3.449	3.555	3.488	3.453	3.777	3.788	3.582	3.494	
T1	0.858	0.858	0.858	0.858	0.111			0.882	0.878	0.829	0.848	0.826	0.842	0.826	0.852	0.855	0.863	0.863	0.833	0.859	0.868	0.839	0.843	0.858	0.863	
CA	1.871	1.894	1.853	1.918	1.887			1.994	1.934	1.978	1.781	1.939	1.943	1.828	1.944	1.921	1.899	1.879	1.914	1.886	1.876	1.875	1.888	1.852	1.852	
MA	0.294	0.311	0.337	0.375	0.373			0.874	0.268	0.125	0.286	0.244	0.886	0.282	0.128	0.211	0.322	0.348	0.171	0.384	0.289	0.173	0.198	0.218	0.291	
K	0.877	0.185	0.181	0.128	0.123			0.833	0.858	0.833	0.877	0.857	0.834	0.847	0.832	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
TOTAL	15.326	15.362	15.428	15.516	15.529			15.182	15.318	15.128	15.296	15.388	15.141	15.247	15.224	15.171	15.291	15.386	15.126	15.236	15.162	15.894	15.112	15.138	15.188	
ALIV	0.515	0.541	0.768	0.888	0.913			0.384	0.528	0.311	0.489	0.519	0.232	0.362	0.282	0.484	0.635	0.628	0.368	0.585	0.442	0.255	0.312	0.485	0.481	
ALVI	2.119	0.131	0.226	0.894	0.129			0.185	0.875	0.155	0.139	0.141	-	0.464	-	0.242	0.249	0.248	0.212	0.388	0.266	0.173	0.193	0.254	0.278	
Z	0.838	0.888	0.888	0.888	0.888			0.888	0.888	0.888	0.888	0.888	0.888	0.888	0.888	0.888	0.888	0.888	0.888	0.888	0.888	0.888	0.888	0.888	0.888	
Y	5.884	5.852	5.137	5.141	5.146			5.881	5.849	4.986	5.173	5.069	5.089	5.172	5.168	5.448	5.879	5.841	5.884	5.817	5.846	5.884	5.888	5.888	5.845	
M	2.888	2.888	2.888	2.888	2.888			2.888	2.888	2.888	2.888	2.888	2.888	2.888	2.888	2.888	2.888	2.888	2.888	2.888	2.888	2.888	2.888	2.888	2.888	
MMA	0.129	0.186	0.147	0.808	0.113			0.886	0.666	0.824	0.239	0.861	0.174	0.856	0.979	0.181	0.121	0.885	0.154	0.124	0.125	0.112	0.118	0.118	0.118	
MMA	0.165	0.285	0.178	0.285	0.268			0.869	0.283	0.181	0.847	0.183	0.828	0.828	0.864	0.131	0.221	0.888	0.152	0.145	0.847	0.877	0.862	0.143	0.143	
A	0.243	0.310	0.291	0.485	0.383			0.181	0.261	0.134	0.124	0.748	0.856	0.856	0.856	0.131	0.221	0.888	0.152	0.145	0.847	0.877	0.862	0.143	0.143	
C+	0.477	0.543	0.634	0.695	0.733			0.388	0.487	0.363	0.392	0.443	0.153	0.192	0.163	0.183	0.183	0.183	0.183	0.183	0.183	0.183	0.183	0.183	0.183	
C-	0.644	0.647	0.987	0.977	1.075			0.318	0.386	0.355	0.727	0.588	0.289	0.536	0.339	0.563	0.736	0.749	0.446	0.739	0.565	0.381	0.424	0.553	0.629	
M6	71.889	69.828	64.434	62.768	66.168			79.342	77.918	88.234	79.776	78.793	83.615	78.078	78.310	71.675	70.797	72.284	74.134	72.119	73.685	78.854	77.281	75.283	74.162	
M6*	71.889	69.828	64.434	62.768	66.168			79.342	77.918	88.234	79.776	78.793	83.615	78.078	78.310	71.675	70.797	72.284	74.134	72.119	73.685	78.854	77.281	75.283	74.162	
TOTAL	15.328	15.362	15.428	15.516	15.529			15.182	15.318	15.128	15.296	15.388	15.141	15.247	15.224	15.171	15.291	15.386	15.126	15.236	15.162	15.894	15.112	15.138	15.188	

Tableau n° III :
Analyses chimiques et formules structurales des biotites des syénites du Lauvitel et du granite du Rochail (Rochail)

H₂O est estimé à 4%.

Facies	CASCADE DU LAUVITEL																				
	Granite					Syénite à f. blastique					Syénite de contact					Monzosyénite					
	IO1		IO3			IO5			IO5			IO5			I22			I26			
Ech. RL	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
\$O2	36.66	36.58	38.18	38.93	38.84	39.49	39.48	39.41	39.88	39.91	39.52	39.41	39.89	39.19	39.91	39.45	39.38	37.88	38.56	37.26	38.34
Al2O3	14.26	15.32	14.88	13.57	13.41	13.39	13.57	13.84	14.87	12.88	12.92	12.97	12.68	12.99	13.85	12.93	14.37	13.39	13.45	14.78	13.64
Fe2O3	28.68	19.89	14.25	15.16	15.89	15.76	15.27	15.11	14.36	15.26	15.81	15.75	15.35	15.35	14.82	16.18	16.20	16.48	15.75	16.72	15.88
FeO	18.19	18.32	15.99	14.36	14.83	14.86	14.92	15.23	15.47	16.81	15.43	15.78	15.26	15.51	16.22	15.68	13.55	14.27	13.78	15.76	14.97
MgO	0.66	0.87	0.88	0.87	0.87	0.87	0.82	0.82	0.82	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.82	0.82	0.82	0.85	0.88
CaO	0.21	0.17	0.20	0.21	0.19	0.22	0.22	0.19	0.11	0.14	0.14	0.15	0.15	0.15	0.16	0.15	0.17	0.18	0.15	0.13	0.12
K ₂ O	9.24	9.88	10.16	9.98	9.84	10.37	9.95	10.44	9.98	10.16	10.31	10.29	9.88	10.03	10.83	10.31	10.24	10.81	10.81	10.82	10.33
TiO ₂	3.29	3.25	1.93	2.81	1.98	1.91	2.88	2.41	2.81	2.38	2.26	2.36	2.44	1.87	2.18	2.88	2.29	2.57	2.31	0.99	2.51
MnO	0.48	0.48	0.85	-	0.25	0.12	0.16	0.14	0.22	0.12	0.21	0.89	0.16	0.19	0.17	0.22	0.21	0.18	0.23	0.18	0.19
Cr2O3	0.87	0.85	0.83	0.84	-	0.81	0.88	0.16	0.14	0.17	0.82	0.23	0.48	0.87	0.84	0.89	-	0.17	0.17	0.09	0.88
NiO																					
TOTAL	95.14	95.93	95.79	95.85	95.22	96.13	96.73	96.81	95.38	96.89	96.63	96.96	95.78	95.36	96.58	96.93	97.23	94.89	94.48	94.55	96.22
Si	5.655	5.585	5.795	5.834	5.837	5.878	5.817	5.887	5.812	5.874	5.858	5.821	5.856	5.819	5.877	5.848	5.787	5.737	5.851	5.638	5.749
Al	2.593	2.787	2.445	2.397	2.375	2.349	2.356	2.493	2.466	2.221	2.257	2.258	2.266	2.293	2.262	2.256	2.524	2.395	2.485	2.622	2.398
Cr	0.889	0.886	0.884	0.885	-	0.881	0.833	0.819	0.816	0.828	0.882	0.827	0.857	0.808	0.885	0.811	-	0.828	0.828	0.811	0.887
Fe3	2.668	2.539	1.766	1.988	1.997	1.962	1.882	1.862	1.786	1.878	1.968	1.946	1.916	1.922	1.825	1.993	2.268	2.082	1.999	2.116	1.981
Al	0.863	0.862	0.866	-	0.832	0.815	0.828	0.817	0.828	0.815	0.826	0.811	0.828	0.824	0.821	0.828	0.827	0.823	0.838	0.813	0.824
Mg	2.343	2.348	2.532	2.288	2.322	2.297	2.277	2.345	2.429	2.512	2.489	2.457	2.462	2.462	2.462	2.462	2.462	2.462	2.462	2.462	2.462
Ti	0.382	0.373	0.215	0.317	0.215	0.214	0.319	0.267	0.225	0.255	0.252	0.262	0.274	0.211	0.241	0.223	0.257	0.293	0.264	0.113	0.282
Ca	0.818	0.811	0.813	0.811	0.811	-	-	-	0.883	0.882	0.882	0.882	0.882	0.882	0.882	0.882	0.882	0.882	0.882	0.882	0.882
Na	0.863	0.858	0.857	0.861	0.855	0.863	0.863	0.829	0.832	0.848	0.848	0.843	0.843	0.846	0.829	0.843	0.828	0.824	0.838	0.886	0.823
K	1.818	1.989	1.921	1.893	1.886	1.969	1.878	1.962	1.878	1.911	1.949	1.939	1.882	1.916	1.884	1.947	1.946	1.938	1.939	1.718	1.966
TOTAL	15.683	15.648	15.755	15.625	15.731	15.749	15.636	15.711	15.676	15.727	15.755	15.765	15.681	15.761	15.785	15.799	15.758	15.743	15.662	15.791	15.748
AlIV	2.345	2.415	2.285	2.166	2.163	2.122	2.183	2.193	2.188	2.126	2.142	2.179	2.164	2.131	2.123	2.168	2.293	2.283	2.149	2.362	2.251
AlVI	0.248	0.341	0.248	0.251	0.212	0.227	0.173	0.218	0.279	0.495	0.115	0.479	0.182	0.161	0.139	0.096	0.231	0.132	0.256	0.268	0.147
Z	0.888	0.888	0.888	0.888	0.888	0.888	0.888	0.888	0.888	0.888	0.888	0.888	0.888	0.888	0.888	0.888	0.888	0.888	0.888	0.888	0.888
Y	5.712	5.678	5.764	5.668	5.778	5.716	5.783	5.728	5.763	5.775	5.764	5.782	5.765	5.789	5.792	5.884	5.791	5.778	5.884	6.067	5.771
A	1.891	1.978	1.991	1.965	1.953	1.933	1.933	1.991	1.913	1.951	1.991	1.983	1.927	1.963	1.913	1.998	1.967	1.965	1.978	1.794	1.989
Hg	46.758	48.045	46.666	46.881	46.454	46.694	46.523	46.248	46.754	46.155	46.496	46.985	46.923	46.297	46.189	46.948	46.925	46.997	48.928	46.686	46.689
Hg*	46.758	48.045	46.666	46.881	46.454	46.694	46.523	46.248	46.754	46.155	46.496	46.985	46.923	46.297	46.189	46.948	46.925	46.997	48.928	46.686	46.689
TOTAL	15.683	15.648	15.755	15.625	15.731	15.749	15.636	15.711	15.676	15.727	15.755	15.765	15.681	15.761	15.785	15.799	15.758	15.743	15.662	15.791	15.748

Analyses effectuées à (M) Montpellier ; (C) Clermont-Ferrand

Tableau III (suite)

Facies Ech. RL		REFUGE DES SOURCES												BELLECOTE															
		Monzosyénite						Syénite porphyroïde						Syénite à feldspath blastique															
		206		214		230		243		306		307		310		308		311											
		22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	
		(c)	(c)	(c)	(c)	(c)	(c)	(c)	(c)	(c)	(c)	(c)	(c)	(c)	(c)	(c)	(c)	(m)	(m)										
SiO ₂	57.66	37.57	37.58	38.18	38.18	38.68	37.87	37.88	37.73	37.44	37.44	38.83	38.61	37.61	38.26	37.57	38.79	38.34	38.94	39.66	39.71	38.95	38.49	39.48	38.58	38.87	38.32	38.97	
Al ₂ O ₃	13.66	13.71	13.67	13.59	14.33	12.72	13.97	13.77	13.78	13.72	13.72	16.11	14.88	15.33	13.78	14.22	14.61	14.38	15.28	14.48	14.78	14.52	14.89	14.72	13.74	13.76	13.69	14.13	
Fe ₂ O ₃												13.83	13.86	14.18	14.62	14.36	14.56	14.98	14.48	15.14	14.32	15.77	14.28	13.39	14.86	14.20	14.54	14.32	
FeO	16.78	16.41	16.71	16.27	16.54	15.72	17.52	18.98	18.16	17.95	17.95	16.18	16.57	15.38	16.35	15.68	14.53	14.28	14.41	15.14	14.91	13.98	14.48	15.46	15.57	15.18	15.59	15.58	
MgO	13.81	13.91	13.56	13.57	14.26	15.18	13.68	12.97	12.47	13.52	13.52	8.18	8.01	8.95	8.12	8.83	8.02	8.09	8.09	8.07	8.07	8.08	8.08	8.08	8.08	8.08	8.08	8.08	
CaO	0.12	0.09	0.03	0.14	0.11	0.01	0.18	0.12	0.18	0.06	0.06	0.18	0.31	0.12	0.12	0.07	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	
Na ₂ O	9.46	9.95	9.79	9.29	9.85	9.93	9.17	9.73	9.73	9.73	9.73	18.32	18.18	18.53	9.36	18.28	18.18	9.96	9.89	9.89	18.86	18.16	18.09	18.16	18.23	18.16	18.16	18.81	
K ₂ O	2.43	2.98	3.14	2.53	1.49	2.95	2.62	2.11	2.48	2.48	2.48	2.57	2.53	3.31	2.41	2.81	2.78	2.52	3.09	2.16	3.16	2.98	2.55	2.69	2.95	2.98	3.18	2.83	
TiO ₂	0.21	0.48	0.37	0.57	0.27	0.24	0.18	0.28	0.25	0.22	0.22	0.28	0.12	0.19	0.17	0.13	0.14	0.14	0.11	0.18	0.18	0.23	0.14	0.06	0.19	0.18	0.14	0.14	
MnO	0.03	0.89	0.37	1.11	-	1.43	0.83	0.82	0.89	-	-	0.34	0.18	0.27	0.36	0.21	0.85	-	-	0.20	-	-	-	-	-	-	-	-	
Cr ₂ O ₃	0.11	0.86	0.87	-	0.87	0.07	0.84	-	0.81	-	-	0.13	0.85	0.88	0.89	-	-	-	-	0.20	-	-	-	-	-	-	-	-	
NiO																													
TOTAL	95.88	95.16	95.26	95.59	95.82	96.73	95.12	95.87	94.55	95.82	95.82	97.83	96.29	96.92	95.52	95.13	95.47	94.32	96.28	96.84	96.62	96.55	94.84	95.86	96.88	95.24	95.54	95.18	
Si	5.749	5.693	5.681	5.789	5.759	5.748	5.647	5.656	5.784	5.785	5.785	5.558	5.666	5.938	5.694	5.655	5.767	5.785	5.729	5.839	5.782	5.763	5.757	5.886	5.823	5.796	5.715	5.810	
Al	2.443	2.448	2.441	2.482	2.553	2.228	2.588	2.481	2.488	2.464	2.464	2.771	2.574	2.661	2.417	2.522	2.568	2.557	2.658	2.512	2.584	2.549	2.625	2.552	2.552	2.387	2.418	2.487	
Cr	0.084	0.811	0.844	0.132	-	0.168	0.884	0.882	0.811	-	-	0.842	0.821	0.831	0.842	0.825	0.886	-	-	0.823	-	-	-	0.828	0.828	-	-	-	
Fe ₃	2.138	2.888	2.117	2.841	2.891	1.954	2.232	2.484	2.328	2.289	2.289	1.598	1.683	1.736	1.828	1.883	1.785	1.888	1.782	1.747	1.776	1.958	1.786	1.647	1.734	1.771	1.814	1.786	
Fe ₂	0.813	0.887	0.809	-	0.809	0.888	0.885	-	0.881	-	-	0.815	0.885	0.889	0.901	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Mn	0.927	0.862	0.847	0.847	0.835	0.838	0.823	0.836	0.832	0.828	0.828	0.835	0.815	0.824	0.821	0.817	0.818	0.818	0.814	0.822	0.823	0.829	0.818	0.807	0.807	0.815	0.818	0.818	
Mg	3.124	3.142	3.862	3.874	3.213	3.362	3.088	2.955	2.849	3.871	3.871	3.582	3.625	3.376	3.627	3.518	3.228	3.212	3.168	3.322	3.184	3.865	3.210	3.389	3.421	3.356	3.466	3.445	
Ti	0.277	0.338	0.358	0.285	0.169	0.387	0.384	0.381	0.243	0.275	0.275	0.282	0.279	0.367	0.278	0.228	0.311	0.265	0.342	0.239	0.352	0.323	0.287	0.298	0.327	0.334	0.348	0.228	
Ca	0.882	0.882	0.888	0.819	-	0.885	0.852	0.816	0.818	0.818	0.818	0.828	0.831	0.834	0.835	0.828	0.826	-	-	0.828	-	-	-	0.825	-	-	-	-	
Na	0.835	0.826	0.889	0.841	0.832	0.883	0.838	0.836	0.838	0.818	0.818	1.921	1.986	1.978	1.777	1.974	1.915	1.917	1.856	1.857	1.983	1.918	1.925	1.591	1.879	1.946	1.933	1.984	
K	1.928	1.919	1.892	1.777	1.897	1.882	1.938	1.788	1.983	1.874	1.874	15.735	15.726	15.755	15.713	15.841	15.618	15.632	15.532	15.593	15.566	15.598	15.687	15.413	15.595	15.634	15.788	15.673	
TOTAL	15.732	15.728	15.669	15.567	15.761	15.698	15.774	15.713	15.689	15.734	15.734	2.458	2.334	2.462	2.386	2.345	2.233	2.215	2.271	2.161	2.258	2.237	2.243	2.194	2.177	2.284	2.285	2.198	
AlIV	2.251	2.387	2.319	2.211	2.241	2.228	2.353	2.344	2.216	2.295	2.295	0.321	0.249	0.199	0.111	0.177	0.327	0.342	0.379	0.351	0.325	0.312	0.381	0.358	0.211	0.214	0.122	0.293	
AlVI	0.192	0.141	0.122	0.192	0.312	-	0.155	0.137	0.274	0.169	0.169	0.888	0.888	0.888	0.888	0.888	0.888	0.888	0.888	0.888	0.888	0.888	0.888	0.888	0.888	0.888	0.888	0.888	
Z	0.888	0.888	0.888	0.888	0.888	0.888	0.888	0.888	0.888	0.888	0.888	0.888	0.888	0.888	0.888	0.888	0.888	0.888	0.888	0.888	0.888	0.888	0.888	0.888	0.888	0.888	0.888	0.888	
Y	5.761	5.773	5.768	5.758	5.829	5.810	5.836	5.748	5.832	5.832	5.832	5.787	5.789	5.743	5.781	5.847	5.666	5.715	5.676	5.785	5.642	5.681	5.682	5.727	5.716	5.688	5.767	5.769	
A	1.965	4.947	1.989	1.837	1.932	1.885	1.964	1.876	1.949	1.981	1.981	1.958	1.937	2.012	1.812	1.994	1.945	1.917	1.856	1.888	1.983	1.918	1.925	1.686	1.879	1.946	1.933	1.984	
Mg	59.462	68.172	59.122	59.783	68.577	63.258	58.845	55.149	55.833	57.296	57.296	68.772	69.337	66.834	66.591	65.133	64.329	63.874	63.947	65.536	64.283	61.184	64.251	67.297	66.372	65.461	65.648	65.868	
Mg*	59.462	68.172	59.122	59.783	68.577	63.258	58.845	55.149	55.833	57.296	57.296	68.772	69.337	66.834	66.591	65.133	64.329	63.874	63.947	65.536	64.283	61.184	64.251	67.297	66.372	65.461	65.648	65.868	
TOTAL	15.732	15.728	15.669	15.567	15.761	15.698	15.774	15.713	15.689	15.734	15.734	15.735	15.726	15.755	15.713	15.841	15.618	15.632	15.532	15.593	15.566	15.598	15.687	15.413	15.595	15.634	15.788	15.673	

Tableau n° IV

: Analyses chimiques et formules structures d'amphiboles des enclaves basiques du Péou de St Maurice (Haut Dauphiné) et du St Colomaban (Belledonne).
H₂O est estimée à 2%/

Ech GM	Péou de St Maurice						St Colomaban						Ech JA	St Colomaban						Ech GM								
	IO4		IOI		IIO		IO4		IOI		IIO			IO4		IOI		IIO										
	I	(c)	I	(c)	I	(c)	I	(c)	I	(c)	I	(c)		I	(c)	I	(c)	I	(c)									
SiO2	36.97	37.48	34.86	36.92	36.87	37.85	37.58	36.77	37.51	15.43	14.64	14.71	15.82	16.35	16.31	SiO2	45.52	47.97	47.84	51.29	51.12	55.21	51.73	51.29	51.12	55.21	51.73	
Al2O3	15.53	15.85	16.83	15.26	14.88	14.38	15.43	14.64	14.71	15.43	14.64	14.71	15.82	16.35	16.31	Al2O3	8.21	7.18	6.25	4.57	3.25	2.34	3.78	4.57	3.25	2.34	3.78	
Fe2O3																Fe2O3	15.81	14.59	13.87	11.86	10.28	9.75	18.52	11.86	10.28	9.75	18.52	
FeO	18.95	18.76	21.28	19.28	15.43	14.66	14.23	12.81	12.47	14.23	12.81	12.47	14.23	12.81	12.47	FeO	15.81	14.59	13.87	11.86	10.28	9.75	18.52	11.86	10.28	9.75	18.52	
MgO	11.38	11.79	13.27	11.34	14.36	14.51	8.11	8.89	8.18	8.11	8.89	8.18	8.11	8.89	8.18	MgO	11.83	12.88	13.52	16.14	17.36	17.68	16.68	16.14	17.36	17.68	16.68	
CaO							0.13	0.07	0.07	0.13	0.07	0.07	0.13	0.07	0.07	CaO	11.50	11.62	11.43	12.49	12.48	12.69	12.48	12.49	12.48	12.69	12.48	
MnO	0.13	0.02	0.07	0.15	0.03	0.05	0.10	0.09	0.09	0.10	0.09	0.09	0.10	0.09	0.09	MnO	1.51	1.36	1.22	1.02	0.51	0.54	0.89	1.02	0.51	0.54	0.89	
K2O	9.68	9.58	7.28	10.19	10.00	9.54	8.48	9.45	9.17	8.48	9.45	9.17	8.48	9.45	9.17	K2O	0.88	0.71	0.60	0.42	0.25	0.21	0.39	0.42	0.25	0.21	0.39	
TiO2	2.91	3.37	2.48	3.71	2.85	2.81	1.68	3.01	3.28	1.68	3.01	3.28	1.68	3.01	3.28	TiO2	1.29	1.17	0.95	0.37	0.20	0.28	0.44	0.37	0.20	0.28	0.44	
MnO	0.26	0.01	1.89	0.31	0.21	0.24	0.23	0.23	0.25	0.23	0.23	0.25	0.23	0.23	0.25	MnO	0.34	0.34	0.31	0.34	0.28	0.27	0.28	0.34	0.28	0.27	0.28	
Cr2O3																Cr2O3												
NiO	0.07		0.01			0.15										NiO				0.81	0.85	0.88		0.81	0.85	0.88		
TOTAL	95.08	96.13	97.43	97.13	94.56	95.47	93.66	93.44	93.87	93.66	93.44	93.87	93.66	93.44	93.87	TOTAL	96.89	97.65	95.99	97.71	97.78	98.85	97.31	97.71	97.78	98.85	97.31	
Si	5.688	5.643	5.255	5.551	5.487	5.657	5.493	5.452	5.713	5.493	5.452	5.713	5.493	5.452	5.713	Si	6.844	7.871	7.446	7.398	7.586	7.749	7.467	7.398	7.586	7.749	7.467	
Al	2.776	2.671	2.848	2.784	2.523	2.533	2.755	2.652	2.441	2.755	2.652	2.441	2.755	2.652	2.441	Al	1.455	1.233	1.188	0.777	0.547	0.387	0.629	0.777	0.547	0.387	0.629	
Cr																Cr												
Fe3	2.404	2.362	2.683	2.414	1.962	1.832	2.084	2.182	2.078	2.084	2.182	2.078	2.084	2.182	2.078	Fe3	1.988	1.799	1.733	1.334	1.228	1.145	1.278	1.334	1.228	1.145	1.278	
Fe2	0.889		0.081			0.018										Fe2												
Mn	0.033	0.011	0.241	0.039	0.027	0.030	0.038	0.030	0.032	0.038	0.030	0.032	0.038	0.030	0.032	Mn	0.043	0.042	0.039	0.001	0.006	0.009		0.001	0.006	0.009		
Mg	2.555	2.646	2.982	2.541	3.255	3.232	3.215	2.935	2.831	3.215	2.935	2.831	3.215	2.935	2.831	Mg	2.651	2.812	3.018	3.478	3.695	3.699	3.589	3.478	3.695	3.699	3.589	
Ti	0.332	0.362	0.272	0.419	0.326	0.316	0.191	0.348	0.376	0.191	0.348	0.376	0.191	0.348	0.376	Ti	0.146	0.138	0.187	0.048	0.021	0.038	0.069	0.048	0.021	0.038	0.069	
Ca						0.008	0.018	0.015	0.016	0.018	0.015	0.016	0.018	0.015	0.016	Ca	1.852	1.835	1.829	1.938	1.989	1.988	1.938	1.938	1.989	1.988	1.938	
Na	0.038	0.006	0.028	0.044	0.009	0.023	0.029	0.027	0.027	0.029	0.027	0.027	0.029	0.027	0.027	Na	0.440	0.386	0.353	0.285	0.141	0.147	0.249	0.285	0.141	0.147	0.249	
K	1.873	1.848	1.488	1.954	1.940	1.819	1.639	1.653	1.782	1.639	1.653	1.782	1.639	1.653	1.782	K	0.169	0.134	0.114	0.077	0.046	0.038	0.072	0.077	0.046	0.038	0.072	
TOTAL	15.628	15.559	15.759	15.674	15.736	15.611	15.572	15.614	15.495	15.572	15.614	15.495	15.572	15.614	15.495	TOTAL	15.588	15.442	15.431	15.355	15.213	15.128	15.389	15.355	15.213	15.128	15.389	
AlIV	2.392	2.357	2.745	2.449	2.393	2.343	2.387	2.348	2.287	2.387	2.348	2.287	2.387	2.348	2.287	AlIV	1.156	0.929	0.854	0.682	0.414	0.251	0.533	0.682	0.414	0.251	0.533	
AlVI	0.384	0.314	0.184	0.255	0.138	0.198	0.448	0.384	0.354	0.448	0.384	0.354	0.448	0.384	0.354	AlVI	0.298	0.305	0.246	0.175	0.133	0.136	0.096	0.175	0.133	0.136	0.096	
Z	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	Z	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
Y	5.717	5.712	6.283	5.675	5.788	5.761	5.886	5.719	5.678	5.886	5.719	5.678	5.886	5.719	5.678	Y	5.126	5.088	5.134	5.062	5.117	5.827	5.859	5.062	5.117	5.827	5.859	
A	1.911	1.847	1.475	1.998	1.949	1.858	1.686	1.895	1.825	1.686	1.895	1.825	1.686	1.895	1.825	A	0.148	0.165	0.171	0.078	0.091	0.092	0.078	0.078	0.091	0.092	0.078	
Mg	51.522	52.833	52.639	51.283	62.388	63.821	61.585	58.271	57.675	61.585	58.271	57.675	61.585	58.271	57.675	Mg	0.293	0.295	0.297	0.215	0.051	0.055	0.179	0.215	0.051	0.055	0.179	
Mg*	51.522	52.833	52.639	51.283	62.388	63.821	61.585	58.271	57.675	61.585	58.271	57.675	61.585	58.271	57.675	Mg*	0.461	0.355	0.297	0.293	0.096	0.093	0.251	0.293	0.096	0.093	0.251	
TOTAL	15.628	15.559	15.759	15.674	15.736	15.611	15.572	15.614	15.495	15.572	15.614	15.495	15.572	15.614	15.495	TOTAL	15.588	15.442	15.431	15.355	15.213	15.128	15.389	15.355	15.213	15.128	15.389	
C+							1.051	0.918	0.756	1.051	0.918	0.756	1.051	0.918	0.756	C+	1.051	0.918	0.756	0.548	0.272	0.289	0.486	0.548	0.272	0.289	0.486	
C-							1.384	1.074	1.025	1.384	1.074	1.025	1.384	1.074	1.025	C-	1.384	1.074	1.025	0.672	0.585	0.342	0.683	0.672	0.585	0.342	0.683	
M6							57.148	68.993	63.468	57.148	68.993	63.468	57.148	68.993	63.468	M6	57.148	68.993	63.468	72.229	75.861	76.378	73.862	72.229	75.861	76.378	73.862	
M6*							57.148	68.993	63.468	57.148	68.993	63.468	57.148	68.993	63.468	M6*	57.148	68.993	63.468	72.229	75.861	76.378	73.862	72.229	75.861	76.378	73.862	
TOTAL	15.628	15.559	15.759	15.674	15.736	15.611	15.588	15.442	15.431	15.588	15.442	15.431	15.588	15.442	15.431	TOTAL	15.588	15.442	15.431	15.355	15.213	15.128	15.389	15.355	15.213	15.128	15.389	

Tableau n° V

: Analyses chimiques et formules structures de biotites des enclaves basiques du Péou de St Maurice (Haut Dauphiné) et du St Colomaban (Belledonne).
H₂O estimée à 4%.

Ech GM	Péou de St Maurice						St Colomaban						Ech JA	St Colomaban						Ech GM							
	IO4		IOI		IIO		IO4		IOI		IIO			IO4		IOI		IIO									
	I	(c)	I	(c)	I	(c)	I	(c)	I	(c)	I	(c)		I	(c)	I	(c)	I	(c)								
SiO2	36.97	37.48	34.86	36.92	36.87	37.85	37.58	36.77	37.51	15.43	14.64	14.71	15.82	16.35	16.31	SiO2	45.52	47.97	47.84	51.29	51.12	55.21	51.73	51.29	51.12	55.21	51.73
Al2O3	15.53	15.85	16.83	15.26	14.88	14.38	15.43	14.64	14.71	15.43	14.64	14.71	15.82	16.35	16												

Tableau n° VI : Analyses chimiques et formules structurales du sphène de la syénite du Lauvitel (Rochail).
Analyses effectuées à l'Open University (U.K.) par R. Oliver (I.L.L. Grenoble).

SPECTRUM: RL103A6

LAST ELMT BY DIFFERENCE

ELMT	ZAF	%ELMT	%OXIDE	FORMULA
SI	.854	14.026	30.004	3.881
TI	.868	21.707	36.209	3.523
AL	.760	.849	1.226	.187
FE	.832	.943	1.213	.131
MN	.801	.091	.117	.013
MG	.642	.144	.239	.046
CA	1.073	19.987	27.966	3.876
NA	.643	.273	.368	.092
LA	.795	.339	.397	.019
CE	.853	.283	.332	.016
PR	.776	.037	.043	.002
ND	.782	.198	.232	.011
NB	.768	.154	.220	.013
O	.079	41.169	.000	20.000
TOTAL		100.000	98.566	

SPECTRUM: RL103A14

LAST ELMT BY DIFFERENCE

ELMT	ZAF	%ELMT	%OXIDE	FORMULA
SI	.846	14.209	30.396	3.786
TI	.869	20.301	33.863	3.172
AL	.757	.925	1.748	.257
FE	.834	1.498	1.927	.201
MN	.805	.011	.014	.002
MG	.640	.086	.143	.027
CA	1.070	19.835	26.354	3.518
NA	.639	.190	.243	.059
LA	.799	.136	.160	.007
CE	.855	.439	.514	.023
PR	.782	.115	.134	.006
ND	.789	.514	.600	.027
NB	.767	.000	.000	.000
O	.085	42.750	.000	20.000
TOTAL		100.000	95.097	

SPECTRUM: RL103A13

LAST ELMT BY DIFFERENCE

ELMT	ZAF	%ELMT	%OXIDE	FORMULA
SI	.850	13.967	29.877	3.778
TI	.870	21.652	36.117	3.434
AL	.757	.636	1.202	.179
FE	.833	1.094	1.408	.149
MN	.802	.030	.039	.004
MG	.639	.059	.097	.018
CA	1.073	18.869	26.401	3.577
NA	.639	.247	.333	.082
LA	.798	.094	.110	.005
CE	.856	.459	.537	.025
PR	.779	.067	.078	.004
ND	.795	.471	.550	.025
NB	.768	.237	.339	.019
O	.081	42.119	.000	20.000
TOTAL		100.000	97.089	

SPECTRUM: RL105/5

LAST ELMT BY DIFFERENCE

ELMT	ZAF	%ELMT	%OXIDE	FORMULA
SI	.857	14.186	30.346	3.327
TI	.867	21.724	36.236	3.526
AL	.761	.439	.826	.126
FE	.834	1.444	1.858	.201
MN	.802	.025	.032	.004
MG	.641	.044	.072	.014
CA	1.071	19.623	27.457	3.807
NA	.641	.348	.469	.118
LA	.796	.000	.000	.000
CE	.854	.291	.341	.016
PR	.777	.016	.019	.001
ND	.792	.219	.255	.012
NB	.759	.489	.698	.041
O	.079	41.154	.000	20.000
TOTAL		100.000	98.613	

Tableau n° VII : Analyses chimiques et formules structurales de l'apatite de la syénite du Lauvitel (Rochail).
Analyses effectuées à l'Open University (U.K.) par R. Oliver (I.L.L. Grenoble).

SPECTRUM: RL103A7

LAST ELMT BY DIFFERENCE

ELMT	ZAF	%ELMT	%OXIDE	FORMULA
CA	1.008	38.973	54.390	9.955
P	.998	18.244	41.808	5.439
LA	.722	.189	.221	.013
CE	.780	.335	.382	.022
PR	.780	.000	.000	.000
ND	.784	.000	.000	.000
SM	.791	.000	.000	.000
TH	.633	.144	.192	.006
U	.621	.216	.259	.008
MN	.800	.001	.001	.000
SI	.916	.253	.563	.086
Y	.766	.146	.185	.015
O	.097	41.591	.000	24.000
TOTAL		100.000	97.993	

SPECTRUM: RL103A20

LAST ELMT BY DIFFERENCE

ELMT	ZAF	%ELMT	%OXIDE	FORMULA
CA	1.010	39.088	54.692	9.997
P	.999	18.433	42.240	5.491
LA	.722	.106	.124	.007
CE	.780	.274	.320	.018
PR	.780	.000	.000	.000
ND	.794	.124	.144	.008
SM	.791	.000	.000	.000
TH	.632	.000	.000	.000
U	.621	.000	.000	.000
MN	.800	.007	.010	.001
SI	.919	.327	.700	.107
Y	.765	.017	.022	.002
O	.098	41.624	.000	24.000
TOTAL		100.000	99.252	

Tableau n° VIII : Analyses et formules structurales de feldspaths potassiques et plagioclases de la syénite du Rochail.

		CASCADE DU LAUVITEL												
Facies		Granite du Rochail s.s												
Ech R.L.		IOI							IO7 - IO8					
		I	2	3	4	5	6	7	8	9	IO	II	I2	I3
		(M)	(M)	(M)	(M)	(M)	(M)	(M)	(C)	(C)	(C)	(C)	(C)	(C)
K		0.0000	0.0234	0.0000	0.1509	0.1515	0.1572	0.1470	0.0030	0.0023	0.0090	0.0037	0.0031	0.0041
CA		0.0007	0.0063	0.0051	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0300	0.0368	0.0275	0.0252	0.0231	0.0396
BA									0.0023	0.0008	0.0000	0.0005	0.0012	0.0019
CR		0.0002	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0002	0.0000	0.0000	0.0002	0.0002	0.0009	0.0008
TI		0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0002	0.0000	0.0002	0.0002	0.0000	0.0017	0.0019	0.0005	0.0003
MN		0.0000	0.0000	0.0002	0.0000	0.0005	0.0000	0.0009	0.0002	0.0000	0.0002	0.0000	0.0006	0.0003
FE		0.0004	0.0028	0.0000	0.0010	0.0000	0.0010	0.0000	0.0087	0.0000	0.0032	0.0012	0.0006	0.0003
NI									0.0013	0.0000	0.0000	0.0006	0.0000	0.0002
NA		0.1160	0.0909	0.1053	0.0107	0.0124	0.0073	0.0135	0.0956	0.0911	0.0938	0.0955	0.0963	0.0885
SI		0.6897	0.6438	0.5813	0.6314	0.6412	0.6405	0.6360	0.6396	0.6357	0.6466	0.6459	0.6540	0.6340
AL		0.2019	0.2207	0.2068	0.1948	0.1921	0.1913	0.1916	0.2352	0.2304	0.2258	0.2231	0.2230	0.2343
HG		0.0000	0.0028	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
		1.0090	0.9907	0.9988	0.9889	0.9979	0.9975	0.9894	1.0161	0.9971	1.0079	0.9978	1.0034	1.0044
K		0.0000	0.1331	0.0000	0.8981	0.8930	0.9283	0.8726	0.0165	0.0129	0.0503	0.0207	0.0173	0.0228
CA		0.0035	0.0299	0.0237	0.0005	0.0000	0.0000	0.0000	0.1403	0.1744	0.1292	0.1193	0.1086	0.1870
BA									0.0039	0.0014	0.0000	0.0009	0.0020	0.0032
CR		0.0008	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0008	0.0000	0.0001	0.0005	0.0005	0.0032	0.0029
TI		0.0000	0.0000	0.0001	0.0000	0.0006	0.0001	0.0007	0.0008	0.0000	0.0057	0.0062	0.0015	0.0012
MN		0.0001	0.0000	0.0007	0.0000	0.0020	0.0000	0.0035	0.0007	0.0000	0.0006	0.0000	0.0022	0.0011
FE		0.0015	0.0106	0.0000	0.0040	0.0000	0.0039	0.0000	0.0318	0.0000	0.0118	0.0042	0.0020	0.0012
NI									0.0045	0.0000	0.0000	0.0023	0.0002	0.0009
NA		0.9725	0.7857	0.8894	0.0965	0.1111	0.0658	0.1221	0.8098	0.7814	0.7972	0.8168	0.8185	0.7559
SI		2.9819	2.8709	2.9685	2.9457	2.9626	2.9657	2.9598	2.7938	2.8122	2.8358	2.8501	2.8657	2.7928
AL		1.0287	1.1597	1.0621	1.0709	1.0460	1.0439	1.0510	1.2106	1.2013	1.1668	1.1604	1.1516	1.2163
HG		0.0000	0.0183	0.0000	0.0000	0.0000	0.0008	0.0000	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
		4.9891	5.0082	4.9445	5.0157	5.0153	5.0087	5.0105	5.0128	4.9837	4.9980	4.9815	4.9729	4.9853
FH		0.9990	0.3655	0.9976	0.9996	0.9992	0.8247	0.9995	0.9965	0.4053	0.9999	0.9996	0.9996	0.9993
AB		0.9964	0.8282	0.9740	0.9970	0.1106	0.0662	0.1228	0.8378	0.8067	0.8162	0.8537	0.8666	0.7828
OR		0.0000	0.1403	0.0000	0.9026	0.8894	0.9338	0.8772	0.0170	0.0133	0.0515	0.0216	0.0184	0.0236
AN		0.0036	0.0316	0.0260	0.0005	0.0000	0.0000	0.0000	0.1452	0.1800	0.1323	0.1247	0.1150	0.1936

		CASCADE DU LAUVITEL												
Facies		Granite			Syénite à feldspath blastique					Facies syénitique de contact				
Ech R.L.		IO7			IO3					IO5				
		I4	I5	I6	I7	I8	I9	20	21	22	23	24	25	26
		(C)	(C)	(C)	(M)	(M)	(M)	(M)	(M)	(M)	(M)	(M)	(M)	(M)
K		0.0027	0.0024	0.0027	0.0020	0.0015	0.0015	0.0028	0.1650	0.0015	0.0014	0.0016	0.1526	0.1607
CA		0.0320	0.0289	0.0392	0.0065	0.0027	0.0027	0.0249	0.0004	0.0028	0.0011	0.0014	0.0001	0.0000
BA		0.0000	0.0013	0.0007										
CR		0.0000	0.0002	0.0002	0.0000	0.0000	0.0008	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
TI		0.0000	0.0006	0.0003	0.0000	0.0002	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0002	0.0000	0.0009	0.0003
MN		0.0005	0.0008	0.0000	0.0005	0.0000	0.0002	0.0000	0.0003	0.0002	0.0000	0.0000	0.0011	0.0000
FE		0.0007	0.0007	0.0006	0.0008	0.0004	0.0001	0.0032	0.0004	0.0006	0.0018	0.0008	0.0014	0.0029
NI		0.0000	0.0003	0.0012										
NA		0.0921	0.0936	0.0895	0.1124	0.1168	0.1179	0.0992	0.0044	0.1174	0.1172	0.1167	0.0103	0.0114
SI		0.6429	0.6432	0.6351	0.6759	0.6834	0.6784	0.6511	0.6365	0.6815	0.6915	0.6887	0.6408	0.6383
AL		0.2316	0.2288	0.2377	0.2031	0.2058	0.2051	0.2282	0.1903	0.2081	0.2053	0.2058	0.1957	0.1904
HG		0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0002	0.0002	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0003
		1.0027	1.0008	1.0071	1.0011	1.0108	1.0068	1.0095	0.9974	1.0120	1.0186	1.0150	1.0020	0.9944
K		0.0151	0.0133	0.0151	0.0110	0.0083	0.0082	0.0154	0.9790	0.0081	0.0077	0.0089	0.8965	0.8919
CA		0.1505	0.1364	0.1844	0.0304	0.0123	0.0124	0.1162	0.0022	0.0129	0.0051	0.0065	0.0004	0.0001
BA		0.0000	0.0022	0.0011										
CR		0.0000	0.0008	0.0006	0.0000	0.0000	0.0027	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
TI		0.0000	0.0019	0.0011	0.0000	0.0008	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0007	0.0000	0.0000	0.0012
MN		0.0017	0.0028	0.0000	0.0018	0.0000	0.0006	0.0000	0.0010	0.0006	0.0002	0.0000	0.0044	0.0000
FE		0.0027	0.0025	0.0022	0.0030	0.0015	0.0002	0.0116	0.0017	0.0020	0.0063	0.0031	0.0056	0.0114
NI		0.0000	0.0012	0.0042										
NA		0.7844	0.7989	0.7611	0.9531	0.9798	0.9948	0.8394	0.0399	0.9849	0.9755	0.9746	0.0917	0.1028
SI		2.8231	2.8312	2.7864	2.9560	2.9579	2.9511	2.8413	2.9604	2.9481	2.9684	2.9658	2.9510	2.9622
AL		1.1987	1.1871	1.2290	1.0468	1.0496	1.0515	1.1738	1.0429	1.0609	1.0387	1.0444	1.0620	1.0412
HG		0.0007	0.0002	0.0000	0.0000	0.0000	0.0013	0.0010	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0021
		4.9768	4.9785	4.9852	5.0021	5.0101	5.0228	4.9987	5.0271	5.0175	5.0027	5.0032	5.0116	5.0128
FH		0.8653	0.9724	0.9993	0.9997	0.9989	0.3909	0.9223	0.9994	0.9994	0.9998	0.9995	0.9998	0.8467
AB		0.8257	0.8422	0.7923	0.9584	0.9793	0.9797	0.8645	0.0391	0.9791	0.9870	0.9845	0.0927	0.1033
OR		0.0159	0.0140	0.0157	0.0110	0.0083	0.0081	0.0158	0.9588	0.0081	0.0078	0.0090	0.9068	0.8966
AN		0.1584	0.1438	0.1920	0.0306	0.0123	0.0122	0.1197	0.0021	0.0128	0.0052	0.0065	0.0004	0.0001

Analyses effectuées à : (M) Montpellier ; (C) Clermont-Ferrand.

Tableau VIII (suite)

CASCADE DU LAUVITEL

Facies	Facies syénitique de contact						Monzosyénite du Lauvitel						
	Ech R.L.						Ech R.L.						
	105						122						
	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
	(h)	(h)	(h)	(h)	(h)	(h)	(h)	(h)	(h)	(c)	(c)	(c)	(c)
K ₂ O	0.1554	0.1525	0.1233	0.1574	0.1574	0.1539	0.1647	0.0011	0.0277	0.1658	0.0023	0.1659	0.1602
CaO	0.0000	0.0001	0.0006	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0214	0.0061	0.0003	0.0333	0.0000	0.0000
BAO										0.0054	0.0002	0.0096	0.0063
CR ₂ O ₃	0.0012	0.0000	0.0000	0.0000	0.0002	0.0001	0.0000	0.0001	0.0006	0.0000	0.0008	0.0005	0.0000
TiO ₂	0.0000	0.0000	0.0001	0.0002	0.0000	0.0005	0.0000	0.0000	0.0055	0.0000	0.0000	0.0000	0.0008
MNO	0.0008	0.0000	0.0007	0.0003	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0004	0.0001	0.0005	0.0000	0.0000
FeO	0.0029	0.0012	0.0030	0.0023	0.0029	0.0040	0.0006	0.0004	0.0012	0.0013	0.0012	0.0009	0.0010
NiO										0.0009	0.0015	0.0005	0.0006
Na ₂ O	0.0066	0.0088	0.0322	0.0097	0.0078	0.0122	0.0074	0.1049	0.0770	0.0056	0.0941	0.0035	0.0088
SiO ₂	0.6438	0.6443	0.6463	0.6357	0.6367	0.6452	0.6364	0.6411	0.6674	0.6323	0.6402	0.6346	0.6392
Al ₂ O ₃	0.1903	0.1920	0.1935	0.1922	0.1885	0.1880	0.1917	0.2199	0.2042	0.1858	0.2277	0.1899	0.1863
H ₂ O	0.0000	0.0007	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0011	0.0002	0.0000	0.0002	0.0001
	1.0011	0.9996	0.9998	0.9980	0.9937	1.0040	1.0009	1.0089	0.9913	0.9977	1.0017	1.0056	1.0035
K	0.9147	0.8964	0.7197	0.9329	0.9362	0.9041	0.9748	0.0063	0.1563	0.9901	0.0130	0.9840	0.9486
CA	0.0000	0.0007	0.0027	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000	0.0997	0.0290	0.0015	0.1572	0.0000	0.0000
BA										0.0099	0.0003	0.0174	0.0115
CR	0.0045	0.0000	0.0000	0.0000	0.0006	0.0003	0.0000	0.0002	0.0022	0.0000	0.0028	0.0019	0.0001
TI	0.0000	0.0000	0.0004	0.0006	0.0000	0.0018	0.0000	0.0000	0.0183	0.0000	0.0000	0.0000	0.0029
MN	0.0030	0.0000	0.0029	0.0013	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0016	0.0002	0.0017	0.0000	0.0000
FE	0.0113	0.0045	0.0114	0.0087	0.0115	0.0156	0.0023	0.0014	0.0045	0.0050	0.0046	0.0036	0.0039
NI										0.0035	0.0054	0.0018	0.0022
NA	0.0594	0.0790	0.2857	0.0875	0.0706	0.1091	0.0649	0.8862	0.6614	0.0506	0.8042	0.0317	0.0795
SI	2.9699	2.9689	2.9569	2.9504	2.9657	2.9713	2.9520	2.8793	2.9550	2.9599	2.8217	2.9515	2.9663
AL	1.0345	1.0427	1.0434	1.0515	1.0349	1.0203	1.0482	1.1289	1.0656	1.0253	1.1827	1.0411	1.0189
HG	0.0000	0.0048	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0072	0.0013	0.0000	0.0013	0.0009
	4.9972	4.9969	5.0232	5.0329	5.0195	5.0226	5.0443	5.0019	4.9011	5.0473	4.9936	5.0343	5.0349
FM	0.9999	0.4811	0.9999	0.9998	0.9999	0.9999	0.9993	0.9988	0.4565	0.8007	0.9997	0.7287	0.8148
AB	0.0610	0.0809	0.2834	0.0857	0.0701	0.1076	0.0643	0.8932	0.7811	0.0486	0.8253	0.0312	0.0774
OR	0.9390	0.9184	0.7139	0.9143	0.9299	0.8923	0.9357	0.0063	0.1846	0.9500	0.0134	0.9688	0.9226
AN	0.3000	0.0007	0.0027	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000	0.1005	0.0343	0.0014	0.1614	0.0000	0.0000

CASCADE DU LAUVITEL

Facies	Monzosyénite du Lauvitel												
	Ech R.L.												
	126												
	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52
	(c)	(c)	(c)	(c)	(c)	(c)	(c)	(c)	(c)	(c)	(c)	(c)	(c)
K ₂ O	0.0018	0.0028	0.0019	0.0026	0.0018	0.0024	0.1639	0.1545	0.1498	0.1606	0.1424	0.1517	0.1542
CaO	0.0408	0.0498	0.0388	0.0439	0.0266	0.0339	0.0000	0.0001	0.0005	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
BAO	0.0017	0.0003	0.0012	0.0000	0.0000	0.0017	0.0067	0.0056	0.0088	0.0177	0.0114	0.0133	0.0085
CR ₂ O ₃	0.0003	0.0000	0.0002	0.0000	0.0001	0.0008	0.0008	0.0003	0.0000	0.0009	0.0000	0.0004	0.0000
TiO ₂	0.0003	0.0000	0.0000	0.0021	0.0010	0.0013	0.0078	0.0006	0.0001	0.0000	0.0000	0.0012	0.0013
MNO	0.0005	0.0004	0.0000	0.0004	0.0006	0.0006	0.0005	0.0004	0.0002	0.0011	0.0000	0.0002	0.0000
FeO	0.0012	0.0021	0.0031	0.0015	0.0011	0.0017	0.0008	0.0007	0.0004	0.0011	0.0002	0.0095	0.0011
NiO	0.0003	0.0014	0.0000	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0011	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Na ₂ O	0.0892	0.0879	0.0887	0.0864	0.0999	0.0916	0.0043	0.0091	0.0129	0.0051	0.0095	0.0101	0.0107
SiO ₂	0.6300	0.6220	0.6272	0.6281	0.6490	0.6432	0.6353	0.6409	0.6418	0.6280	0.6280	0.6294	0.6347
Al ₂ O ₃	0.2353	0.2392	0.2293	0.2325	0.2219	0.2232	0.1909	0.1871	0.1926	0.1887	0.1897	0.1900	0.1927
H ₂ O	0.0000	0.0000	0.0002	0.0002	0.0001	0.0000	0.0000	0.0002	0.0000	0.0002	0.0002	0.0003	0.0000
	1.0014	1.0057	0.9906	0.9978	1.0020	1.0003	1.0110	0.9995	1.0082	1.0035	0.9814	1.0061	1.0032
K	0.0100	0.0156	0.0107	0.0146	0.0098	0.0133	0.9650	0.9143	0.8795	0.9599	0.8569	0.9017	0.9121
CA	0.1930	0.2357	0.1853	0.2083	0.1252	0.1603	0.0000	0.0006	0.0023	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
BA	0.0029	0.0004	0.0021	0.0000	0.0000	0.0030	0.0121	0.0102	0.0159	0.0325	0.0211	0.0242	0.0154
CR	0.0009	0.0000	0.0008	0.0000	0.0004	0.0027	0.0028	0.0010	0.0000	0.0035	0.0000	0.0016	0.0000
TI	0.0012	0.0000	0.0000	0.0070	0.0035	0.0043	0.0269	0.0020	0.0004	0.0000	0.0000	0.0041	0.0045
MN	0.0019	0.0013	0.0000	0.0015	0.0021	0.0023	0.0020	0.0016	0.0008	0.0044	0.0000	0.0008	0.0000
FE	0.0043	0.0078	0.0117	0.0055	0.0039	0.0061	0.0032	0.0029	0.0014	0.0043	0.0009	0.0371	0.0043
NI	0.0011	0.0049	0.0000	0.0004	0.0000	0.0000	0.0002	0.0000	0.0040	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
NA	0.7646	0.7528	0.7679	0.7429	0.8513	0.7838	0.0381	0.0816	0.1151	0.0465	0.0870	0.0915	0.0961
SI	2.7837	2.7484	2.7995	2.7838	2.8526	2.8381	2.9323	2.9727	2.9546	2.9427	2.9614	2.9318	2.9433
AL	1.2255	1.2455	1.2064	1.2147	1.1495	1.1604	1.0385	1.0226	1.0452	1.0419	1.0542	1.0431	1.0533
HG	0.0000	0.0000	0.0013	0.0014	0.0008	0.0000	0.0000	0.0013	0.0000	0.0016	0.0015	0.0019	0.0000
	4.9888	5.0125	4.9857	4.9801	4.9990	4.9742	5.0212	5.0109	5.0192	5.0373	4.9830	5.0379	5.0291
FM	0.9997	0.9998	0.9009	0.8300	0.8852	0.9998	0.9997	0.7778	0.9993	0.8494	0.3827	0.9512	0.9996
AB	0.7902	0.7497	0.7966	0.7692	0.8631	0.8187	0.0380	0.0819	0.1155	0.0462	0.0922	0.0922	0.0954
OR	0.0103	0.0155	0.0111	0.0152	0.0100	0.0138	0.9620	0.9174	0.8822	0.9538	0.9078	0.9078	0.9046
AN	0.1995	0.2347	0.1923	0.2157	0.1269	0.1674	0.0000	0.0006	0.0023	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Tableau VIII (suite)

REFUGE DES SOURCES							
Facies — Monzosyénite des Sources —							
Ech R.L.	206		230		243		
	53 (c)	54 (c)	55 (c)	56 (c)	57 (c)	58 (c)	59 (c)
K ₂ O	0.1558	0.1599	0.1361	0.1555	0.1737	0.0019	0.0061
CaO	0.0000	0.0000	0.0010	0.0000	0.0000	0.0305	0.0054
BAO	0.0024	0.0068	0.0101	0.0034	0.0064	0.0011	0.0000
CR ₂ O ₃	0.0000	0.0003	0.0002	0.0005	0.0003	0.0000	0.0003
TiO ₂	0.0001	0.0000	0.0002	0.0154	0.0001	0.0000	0.0000
MNO	0.0000	0.0002	0.0005	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002
FeO	0.0025	0.0012	0.0008	0.0008	0.0002	0.0013	0.0009
NiO	0.0002	0.0000	0.0004	0.0000	0.0009	0.0009	0.0000
Na ₂ O	0.0148	0.0099	0.0246	0.0122	0.0032	0.1000	0.1097
SiO ₂	0.6415	0.6363	0.6435	0.6357	0.6282	0.6411	0.6711
Al ₂ O ₃	0.1845	0.1880	0.1934	0.1870	0.1879	0.2233	0.2070
H ₂ O	0.0001	0.0000	0.0000	0.0001	0.0001	0.0000	0.0002
	1.0019	1.0027	1.0108	1.0108	1.0012	1.0002	1.0009
K	0.9210	0.9480	0.7953	0.9123	1.0387	0.0108	0.0343
CA	0.0000	0.0000	0.0048	0.0000	0.0000	0.1443	0.0253
BA	0.0044	0.0124	0.0181	0.0061	0.0117	0.0019	0.0000
CR	0.0000	0.0012	0.0006	0.0017	0.0010	0.0000	0.0011
TI	0.0004	0.0000	0.0008	0.0532	0.0004	0.0000	0.0000
MN	0.0000	0.0008	0.0018	0.0008	0.0006	0.0006	0.0006
FE	0.0098	0.0048	0.0032	0.0030	0.0009	0.0047	0.0034
NI	0.0007	0.0000	0.0015	0.0000	0.0035	0.0032	0.0000
NA	0.1326	0.0895	0.2188	0.1089	0.0295	0.8570	0.9317
SI	2.9724	2.9578	2.9473	2.9242	2.9446	2.8332	2.9406
AL	1.0077	1.0302	1.0441	1.0140	1.0378	1.1631	1.0688
HG	0.0005	0.0000	0.0000	0.0007	0.0004	0.0000	0.0012
	5.0496	5.0448	5.0361	5.0248	5.0691	5.0187	5.0069
FM	0.9486	0.9997	0.9997	0.8526	0.7900	0.9997	0.7629
AB	0.1258	0.0863	0.2147	0.1066	0.0276	0.8468	0.9399
OR	0.8742	0.9137	0.7805	0.8934	0.9724	0.0107	0.0346
AN	0.0000	0.0000	0.0047	0.0000	0.0000	0.1425	0.0255

BELLECOTE			
Facies — Syénite à f. blastique			
	308		311
	60 (w)	61 (w)	62 (w)
K ₂ O	0.1623	0.0052	0.0040
CaO	0.0000	0.0037	0.0145
BAO			
CR ₂ O ₃	0.0000	0.0000	0.0000
TiO ₂	0.0000	0.0000	0.0000
MNO	0.0000	0.0000	0.0000
FeO	0.0010	0.0005	0.0010
NiO			
Na ₂ O	0.0043	0.1032	0.0994
SiO ₂	0.6390	0.6729	0.6553
Al ₂ O ₃	0.1914	0.2100	0.2160
H ₂ O	0.0000	0.0000	0.0000
	0.9980	0.9955	0.9902
K	0.9604	0.0288	0.0227
CA	0.0000	0.0176	0.0688
BA			
CR	0.0000	0.0000	0.0000
TI	0.0000	0.0000	0.0000
MN	0.0000	0.0000	0.0000
FE	0.0039	0.0018	0.0037
NI			
NA	0.0384	0.8774	0.8527
SI	2.9633	2.9498	2.8997
AL	1.0464	1.0850	1.1267
HG	0.0000	0.0000	0.0000
	5.0124	4.9604	4.9742
FM	1.0000	1.0000	1.0000
AB	0.0384	0.9497	0.9031
OR	0.9616	0.0312	0.0240
AN	0.0000	0.0190	0.0729

Facies — Syénite de la Combe du Lauvet

Ech R.L.	104						110	
	1 (c)	2 (c)	3 (c)	4 (c)	5 (c)	6 (c)	7 (c)	8 (c)
K ₂ O	0.1665	0.1479	0.0022	0.0021	0.1715	0.0016	0.1622	0.1671
CaO	0.0001	0.0009	0.0549	0.0787	0.0000	0.0825	0.0001	0.0000
BAO	0.0064	0.0124	0.0006	0.0011	0.0081	0.0060	0.0110	0.0102
CR ₂ O ₃	0.0006	0.0000	0.0004	0.0006	0.0001	0.0011	0.0002	0.0000
TiO ₂	0.0000	0.0000	0.0008	0.0007	0.0000	0.0008	0.0000	0.0000
MNO	0.0001	0.0000	0.0007	0.0000	0.0000	0.0002	0.0003	0.0000
FeO	0.0000	0.0004	0.0006	0.0004	0.0006	0.0073	0.0016	0.0009
NiO	0.0002	0.0000	0.0008	0.0009	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Na ₂ O	0.0071	0.0128	0.0828	0.0695	0.0027	0.0664	0.0078	0.0049
SiO ₂	0.6296	0.6345	0.6201	0.5870	0.6380	0.5855	0.6335	0.6298
Al ₂ O ₃	0.1863	0.1893	0.2426	0.2631	0.1856	0.2705	0.1899	0.1892
H ₂ O	0.0003	0.0002	0.0000	0.0001	0.0000	0.0001	0.0000	0.0000
	0.9972	0.9985	1.0066	1.0042	1.0067	1.0220	1.0064	1.0021
K	0.9963	0.8791	0.0126	0.0120	1.0174	0.0089	0.9624	0.9971
CA	0.0005	0.0047	0.2593	0.3756	0.0000	0.3896	0.0004	0.0002
BA	0.0117	0.0226	0.0011	0.0019	0.0147	0.0104	0.0201	0.0186
CR	0.0021	0.0000	0.0013	0.0021	0.0005	0.0039	0.0008	0.0000
TI	0.0000	0.0000	0.0027	0.0023	0.0000	0.0027	0.0000	0.0000
MN	0.0004	0.0000	0.0026	0.0000	0.0000	0.0008	0.0010	0.0000
FE	0.0000	0.0014	0.0022	0.0015	0.0025	0.0270	0.0061	0.0036
NI	0.0009	0.0000	0.0030	0.0032	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
NA	0.0642	0.1156	0.7083	0.6000	0.0245	0.5679	0.0700	0.0445
SI	2.9529	2.9561	2.7356	2.6153	2.9672	2.5816	2.9466	2.9460
AL	1.0298	1.0397	1.2614	1.3812	1.0174	1.4056	1.0409	1.0429
HG	0.0021	0.0016	0.0001	0.0009	0.0000	0.0004	0.0000	0.0000
	5.0609	5.0209	4.9903	4.9962	5.0442	4.9988	5.0482	5.0528
FM	0.1603	0.4727	0.9809	0.6283	0.9993	0.9873	0.9998	0.9995
AB	0.0605	0.1157	0.7226	0.6075	0.0235	0.5877	0.0677	0.0427
OR	0.9390	0.8796	0.0129	0.0121	0.9765	0.0092	0.9319	0.9572
AN	0.0005	0.0047	0.2646	0.3803	0.0000	0.4032	0.0003	0.0002

Tableau n° IX :
Analyses et formules
structurales du feldspath
potassique et plagioclase
de la syénite du Péou de
St Maurice

Tableau n° X

Quelques datations des syénites du Lauvitel et de Roche Noire
et du granite du Rochail.

Minéral	Roche hôte et localisation	Méthode	Age	Auteur
Zircon	Granite du Rochail	U/Pb	298 Ma	Krummenacker (1965)
Biotite	Granite du Rochail	K/Ar	327 +/-16Ma	Bonhomme et al. (1963)
Biotite	Granite du Rochail (Vénéon)	Rb/Sr	338 +/-16Ma	Demeulemeester P. (1982)
Biotite	Granite du Rochail (Villard Notre Dame)	Rb/Sr	286 +/-8Ma 283 +/-8Ma	Demeulemeester P.(1982)
Biotite	Granite du Rochail (Villard Notre Dame)	K/Ar	293 +/-13Ma	Demeulemeester P.(1982)
Biotite +/- chloritisée	Granite du Clapier (La Pisse, Rochail)	Rb/Sr	330 +/-9Ma	Demeulemeester P.(1982)
Biotite	Granite du Clapier (Rochail)	K/Ar	319 +/-9Ma	Bonhomme et al. (1963)
Isochrone	Granite du Rochail	Rb/Sr	331 +/-31Ma	Demeulemeester P.(1982)
Zircon	Syénite du Lauvitel (Rochail)	U/Pb	308 Ma	Chessex (1964)
Biotite	Syénite de Roche Noire (Grandes Rousses)	Rb/Sr	265 +/-8Ma	Demeulemeester P.(1982)
Biotite	Syénite de Roche Noire (Grandes Rousses)	K/Ar	284 +/-12Ma	Demeulemeester P.(1982)
Amphibole	Syénite de Roche Noire (Grandes Rousses)	K/Ar	253 +/-16Ma	Demeulemeester P.(1982)
Isochrone	Vagnérinite du Massif Central	K/Ar	308 +/-12Ma	Michon G. (1979)

De nouvelles datations par la méthode K/Ar sur les biotites, amphiboles, et feldspaths potassiques de la syénite du Lauvitel sont à paraître (Vittoz P, Bonhomme M.)

Figure 62 : contact syénite-monzosyéénite.
- Cascade du Lauvitel -



Figure 63 : Aspect moutonné d'un affleurement de syénite
à feldspath blastique - Cascade du Lauvitel -



Figure 65 : Détail d'un affleurement de syénite porphyroïde
(Bellecote). Notez les ocelles fibroradiés en-
tourés d'une corona biotitique.

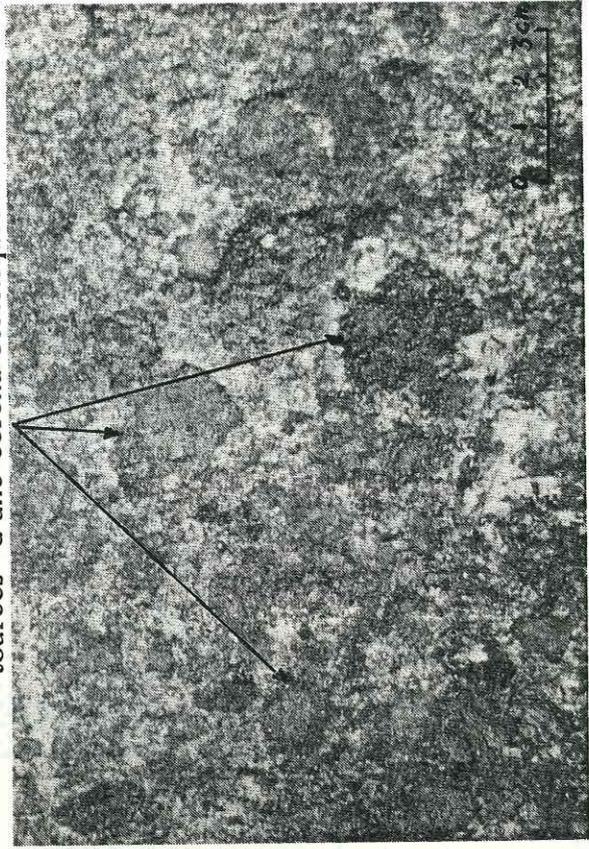


Figure 64 : détail de l'essaim d'enclaves
syénitiques de la Rousse Lauvitel.



Carte d'échantillonnage

Figure n° : Cartographie des affleurements de syénite de la Cascade du Lauvitel (Rochail) et schéma structural - Carte La Mure n°4 1/20000°
 X = 893-4 Y = 303-3 Z = 1550 m Lambert III

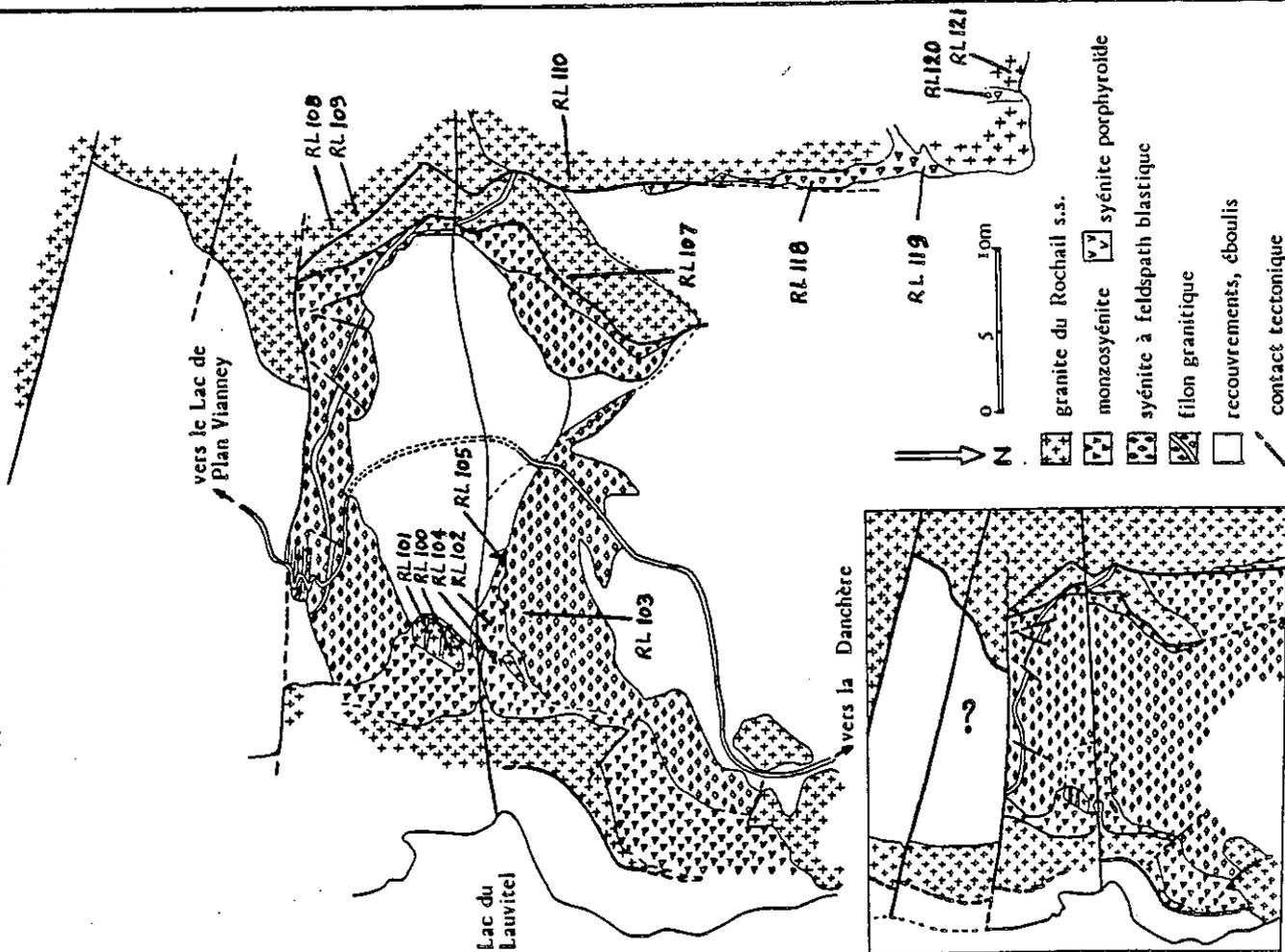
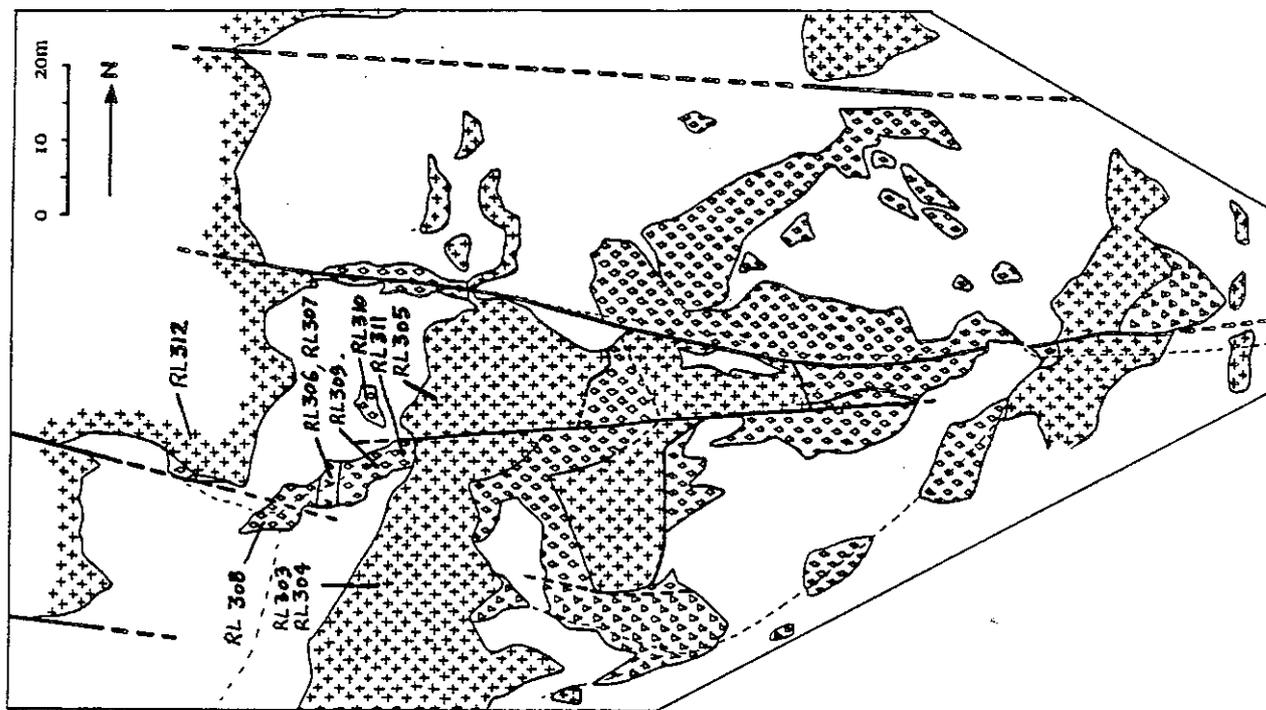


Figure n°
 Cartographie des affleurements de syénite à Bellecote (Rochail)
 Carte la Mure n°4 1/25000°
 X = 893-1 Y = 300-7 Z = 2000m Lambert III



Carte d'échantillonnage

Figure n° : Cartographie des affleurements de syénite près du refuge des Sources (Rochail) Carte La Mure n°4 1/20000

X = 891.6 Y = 305.8
Z = 2000 m Lambert III

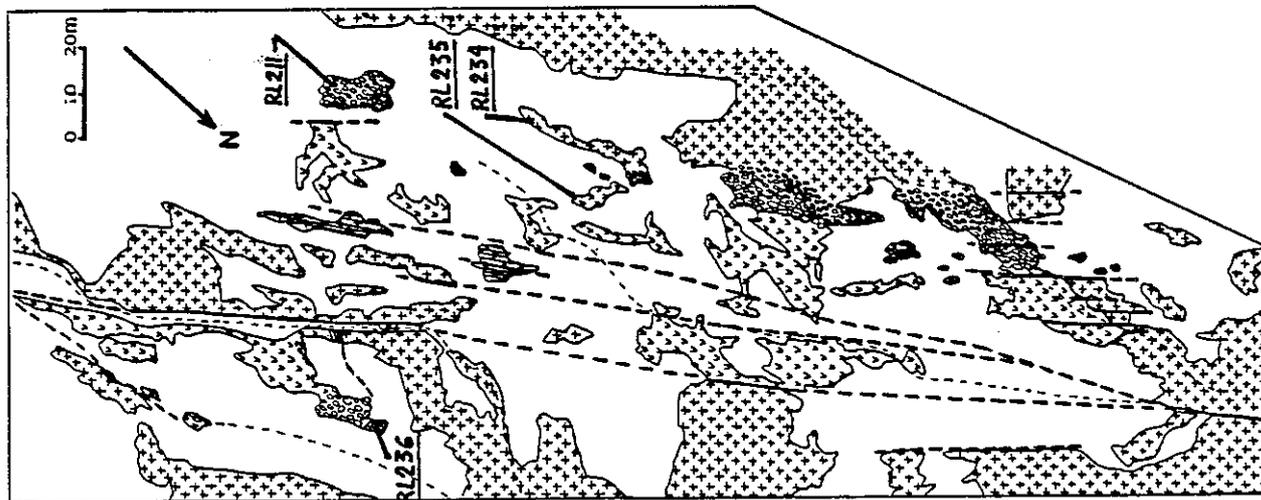
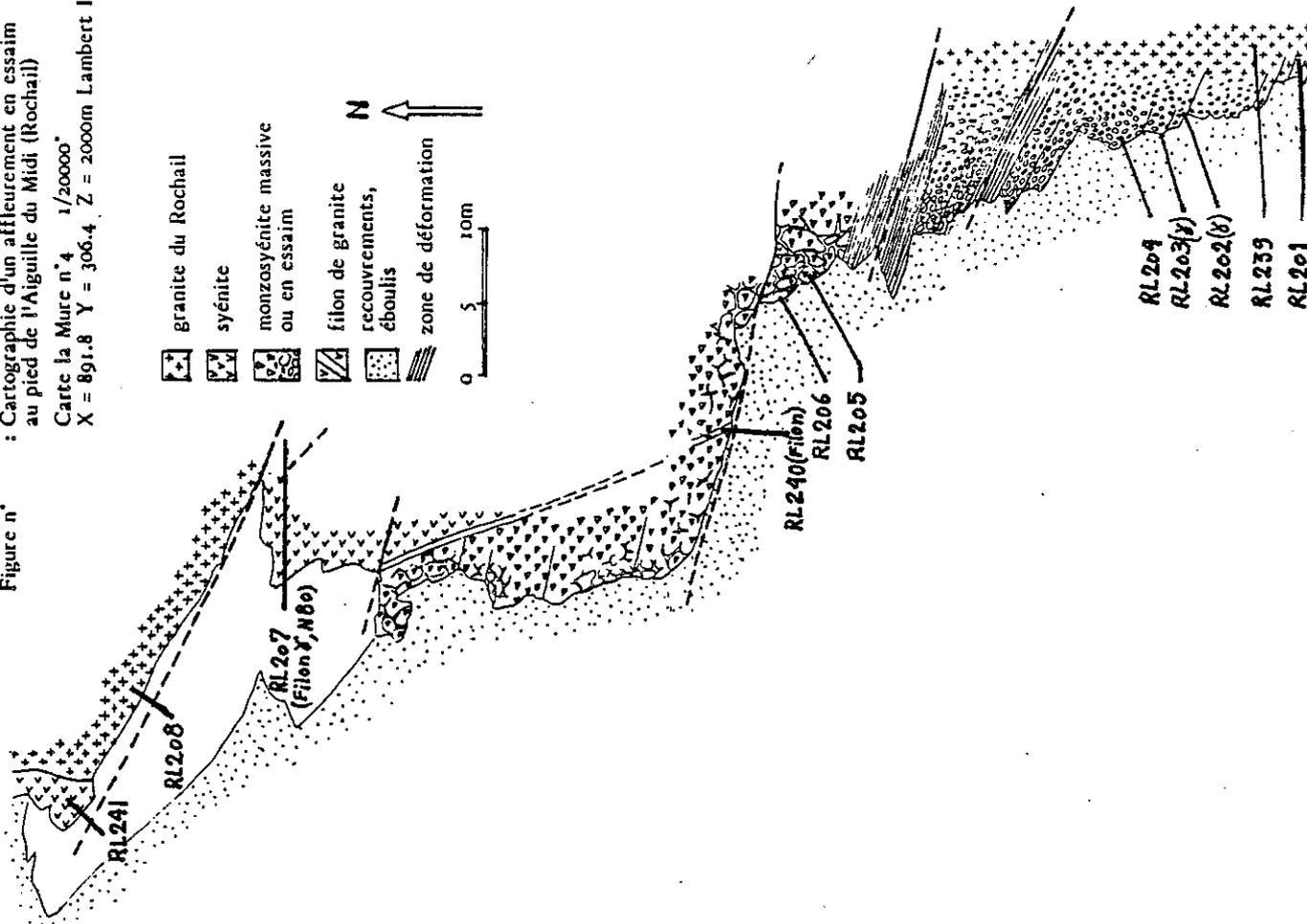
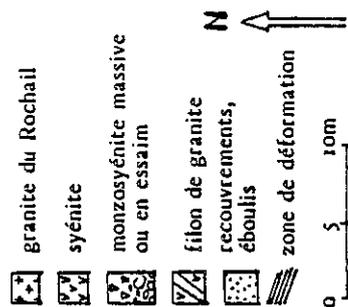


Figure n° : Cartographie d'un affleurement en essaim au pied de l'Aiguille du Midi (Rochail) Carte la Mure n°4 1/20000

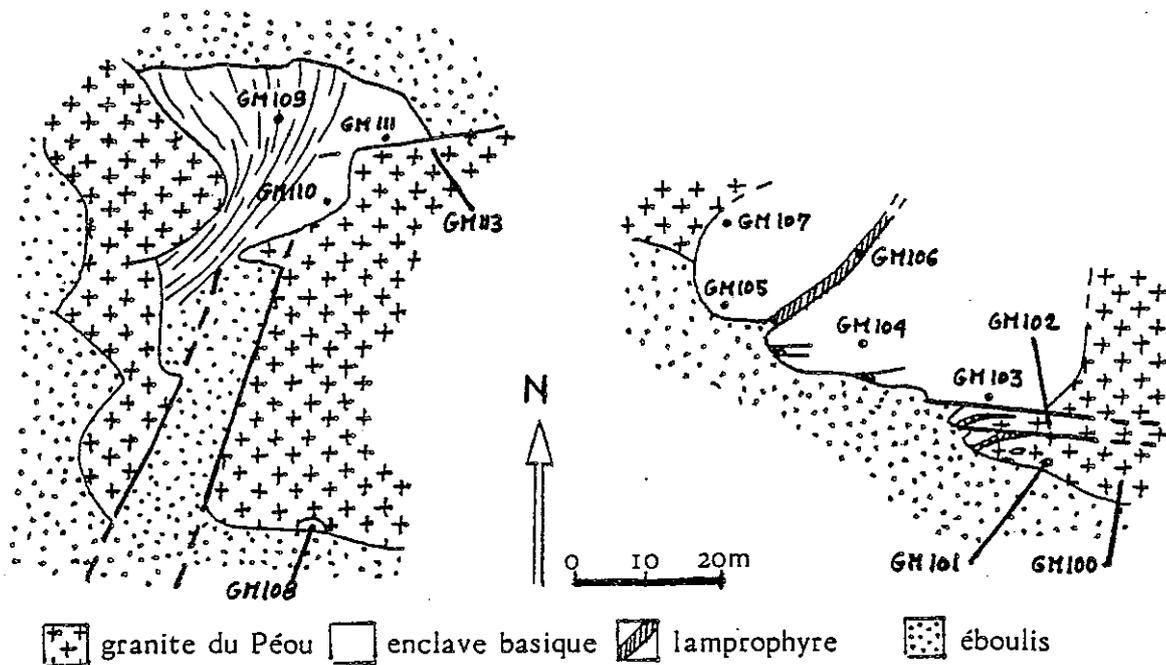
X = 891.8 Y = 306.4 Z = 2000m Lambert III



Carte d'échantillonnage

Affleurement des Ballets (Péou)
Carte La Mure n°8 1/20000°
X = 894.2 Y = 288.2 Z = 1950 m
Lambert III

Affleurement de la Combe du Lauvet
(Péou)
X = 834.6 Y = 287.9 Z = 2100 m
Lambert III



LISTE DES FIGURES

Figure n°	Page	
-----	-----	
1	9	Schéma structural des Alpes franco-italiennes.
2	10	Carte schématique des granitoïdes des massifs externes des Alpes.
3	12	Schéma structural du massif du Haut-Dauphiné.
4	18	Détail de la carte géologique 1/80000° de Briançon - ed.1901 n°189.
5	26	Le massif granitique du Rochail. Contexte géologique et localisation des enclaves basiques étudiées.
6	30	Cartographie des affleurements de syénite de la Cascade du Lauvitel.
7	32	Bloc diagramme du secteur de la Cascade du Lauvitel.
8	32	Mouvements relatifs des trois familles de plans principaux.
9	34	Relation acide-basique. Cascade du Lauvitel (Rochail).
10	34	Panorama vers le Nord depuis les chalets du Lauvitel.
11	36	Localisation de quelques affleurements de syénite du Lauvitel sur le flanc oriental du massif du Rochail.
12	36	Contact tectonique acide-basique.
13	38	Panorama vers le Sud depuis la berge orientale du Lauvitel (Rochail).
14	40	Cartographie des affleurements de syénite à Bellecote (Rochail).
15	42	Schéma structural du secteur étudié à Bellecote (Rochail).
16	42	Bloc diagramme de l'enclave basique de Bellecote .
17	44	Panorama vers le Sud depuis Villard Notre-Dame (Rochail).
18	44	Panorama vers l'Est depuis le chalet des Sources (Rochail).
19	46	Cartographie des affleurements de syénite près du refuge des Sources.
20	48	Cartographie d'un affleurement en essaim au pied de l'Aiguille du Midi (Rochail).
21	50	Localisation des affleurements basiques du Péou de St Maurice.
22	50	Affleurement des Ballets (Péou).
23	50	Affleurement de la Combe du Lauvet (Péou).
24	52	Carte géologique du massif des Grandes Rousses.
25	52	Coupe interprétative du versant occidental du dôme des Petites Rousses.
26	54	Cartographie des affleurements de syénite de Roche Noire (Grandes Rousses).
27	60	Affleurement d'essaim d'enclaves syénitiques du refuge des Sources
28	60	Quelques exemples de formes d'enclaves éparses dans le granite du Clapier (Rochail).
29	62	Aplatissements et étirements des enclaves des essaims du refuge des Sources (Rochail).
30	62	Variation de la forme a/b et de l'orientation d'une particule en fonction de l'intensité de la déformation () et du rapport R des viscosités.
31	62	Variation du rapport R entre la viscosité des particules et celle du système (matrice + particule) en fonction de la concentration C des particules (Gay, 1968).
32	72	Le granite du Rochail s.s. (Ech. RL 108).
33	72	Le granite du Rochail s.s. (Ech. RL 111).
34	74	Aspect interstitiel de la biotite du granite du Rochail s.s.

Figure n°	Page	
-----	-----	
35	80	Syénite porphyroïde (Ech. RL 307).
36	84	Syénite à feldspath blastique (Ech. RL 103).
37	86	Aspect de quelques minéraux de la syénite à feldspath blastique.
38	88	Monzosyénite du Lauvitel (Ech. RL 126).
39	88	Facies syénitique de contact (Ech. RL 105).
40	94	Tableau synthétique des variations minéralogiques des enclaves syénitiques du granite du Rochail.
41	96	Granite à deux micas du Péou de St Maurice (Ech. GM 113).
42	98	Syénite du Lauvet (Ech. GM 104).
43	106	Classification chimico-minéralogique des biotites (Foster, 1960).
44	108	Relations entre la composition chimique des biotites et leurs associations paragenétiques dans les roches ignées et métamorphiques (Nockholds, 1947 ; Leterrier, 1972).
45	110	Relation entre l'association paragenétique des biotites et leurs teneurs en alumine et en Al ^{IV} (Gagny, 1968).
46	110	Position des biotites des différentes lignées magmatiques en fonction de leurs teneurs en Al et Mg (Nachit, 1985).
47	114	Analyses chimiques sériées d'une amphibole zonée de la syénite à feldspath blastique. (Ech. RL 103).
48	116	Classification chimico-minéralogique des amphiboles calciques (B.E. Leake, 1978).
49	118	Corrélations existantes avec Al ^{IV} des amphiboles des syénites du Rochail.
50	120	Relations entre Al ^{VI} et Si des amphiboles calciques (Leake, 1965 ; Raase, 1974).
51	120	Corrélation entre Al ^{IV} et Ti des amphiboles des syénites du Rochail.
52	122	Variations de FeO _t et MgO des biotites et amphiboles des syénites du Rochail.
53	123	Distribution de Al ^{IV} dans les biotites et les amphiboles co-existantes (R. Gorbatshev, 1970).
54	124	Evolution du rapport Fe ²⁺ /Mg+Fe ²⁺ des biotites relativement à celui des amphiboles co-existantes.
55	126	Diagramme Ab/An/Or.
56	128	Analyses chimiques d'un phénocrystal de feldspath potassique et de ses inclusions épitaxiques de plagioclase (Ech. RL 126).
57	138	Diagramme de De la Roche et Leterrier (1966).
58	138	Diagramme de De la Roche (1966).
59	140/142	Diagrammes de type Harker (1909) Oxyde / SiO ₂ .
60	144	Diagramme A.F.M.
61	144	Diagramme de Besson et Fontelles (1968).
62	167	Contact syénite-monzosyénite - Cascade du Lauvitel -
63	167	Aspect moutonné d'un affleurement de syénite à feldspath blastique.
64	167	Détail de l'essaim d'enclaves syénitiques de la Rousse Lauvitel.
65	167	Détail d'un affleurement de syénite porphyroïde (Bellecote).

BIBLIOGRAPHIE

ALLEN J.C., BOETTCHER A.L., MARLAND G. (1975)

Amphiboles in andesite and basalt.
I : stability as a function of P, T, F_{O_2} .
Am. Mineral., 60, pp 1069-1085.

ARNAUD G. (1980)

L'intrusion gabbro-dioritique de St Quay-Portrieux (Côtes du Nord).
Thèse 3° cycle, Paris VI, 141 p.

ADLINE G. (1982)

Les spilites potassiques triasiques de la bordure occidentale du massif des Ecrins - Pelvoux (Alpes françaises) : aspect volcanologique et problèmes de carbonatation.
Thèse 3° cycle. Grenoble, 118 p.

ANDRE F., BEBIEN J. (1983)

Minéralogie et pétrologie des cumulats gabbro-dioritiques situés en bordure septentrionale du massif des Ballons. (Vosges méridionales, France) : cristallisation d'un magma basique en domaine "orogénique" intracontinental.
Bull. Minéral. (1983), 106, 341-351

BARBIER R. (1956)

Remarques sur la tectonique et la stratigraphie de la zone dauphinoise orientale au Nord du Pelvoux.
Bull. Soc. Geol. Fr., 6° Sér., tVI

BARBIERI A. (1970)

Etude pétrographique de la partie orientale du Massif des Ecrins - Pelvoux : les granites. Aperçu sur la géochronométrie du massif.
Thèse 3° cycle, Grenoble.

BARD J.P. (1979)

Microtexture des roches magmatiques et métamorphiques.
Ed. Masson, Paris, 192 p.

BARRIERE M. (1977)

Le complexe de Ploumanach. Massif Armoricaïn.
Thèse 3° cycle, Brest, 1 vol.

BARTOLI (1973)

Etude pétrographique et structurale du Haut Vénéon (Massif du Pelvoux).
Thèse 3^e cycle, Grenoble.

BELLAIR P. (1938)

Sur l'origine du Pelvoux.
C.R.A.S. t. 124, P. 189-190.

BELLAIR P. (1948)

Pétrographie et tectonique des massifs centraux dauphinois.
Mém. serv. Carte géol. Franç. 355 p.1

BELLANGER D. (1980)

Vaugnérites et roches associées dans les Cévennes médianes : quelques aspects pétrologiques et géochimiques.
Thèse 3^e cycle, Lyon, 184 p.

BESSION M., FONTEILLES M. (1974)

Relations entre les comportements contrastés de l'alumine et du fer dans la différenciation des séries tholeitiques et calc-alcalines.
Bull. Soc. Fr. Minéral. Cristallogr. (1974), 97, 445-449.

BIJU DUVAL J. (1975)

Etude pétrologique des terrains cristallins de la région du Sirac (Sud du massif des Ecrins - Pelvoux, Haut Dauphiné).
Thèse 3^e cycle, Grenoble.

BOISSET T. de, VITTOZ P., VIVIER G., OLIVER R. (1984)

Association acide-basique dans le massif du Rochail ; Nord-Ouest Pelvoux
Massifs Cristallins Externes. Relations structurales.
10^e R.A.S.T. 1984

BOIVIN P.A (1982)

Interactions entre magmas basaltiques et manteau supérieur.
Thèse doctorat d'Etat, Clermont, vol.

BONHOMME M., BUFFIERE J.M., ROBERT M. (1963)

Age absolu du granite du massif du Rochail (secteur N.O. du Pelvoux, Isère).
C.R. Acad. Sci, t 256, pp 2 649-2651.

BOUDON J., GAMOND J.F., GRATIER J.P., ROBERT J.P., DEPARDON J.P.,
GAY M., RUHLAND M., VIALON P. (1976)

L'arc alpin occidental : réorientation des structures primitivement E-W par glissement et étirement dans un système de compression globale N-S.
Eclogae Geol. Helv., vol. 69/2, p. 509-516

BUFFIERE J.M. (1964)

Les formations cristallines et cristallophyliennes du Massif du Rochail (Secteur Nord-Ouet du Massif du Pelvoux, Isère).
Extrait des travaux du Laboratoire de Géologie de la Faculté des Sciences de Grenoble.

BURNHAM C.W. (1975)

Waters and magmas : a mixing model.
Geoch. Cosmoch. Acta, n° 39/8.

BUSSEL M.A. (1984)

The centered complex of the Rio Huaura : a study of magma mixing and differentiation in high-level magma chambers. In magmatism at a plate edge - the peruvian Andes.
John Wiley and Sons, ed. New-York. pp 128-151.

CAMBOLY J. (1966)

Etude pétrographique et géochimique des granites de la région du Vic Habaurupt (Vosges) et de leurs enclaves.
Thèse 3° cycle, Nancy, 1 vol. 87 p.

CAMBOLY J., HAMEURT J., ROCCI G. (1967)

Relations génétiques entre vaugnérites et kersantites et hypothèse originale sur la gènèse des lamprophyres des Vosges.
C.R. Acad. Sci, Paris, t. 264, D. p. 25-28.

CARME F. (1978)

Les granitoïdes à affinité monzonitique du complexe granitique du St Colomban (Chaîne de Belledonne, Alpes Occidentales).
Etude géochimique et essai d'interprétation génétique.
C.R. Acad. Sc. Paris, t. 286, n° 17, p. 1233-1235.

CHAMPENOIS M. (1982)

Etude d'écaillage en haut Dauphiné occidental : secteur du Clapier du Peyron - Valsenestre.
Mém. D.E.A., Nancy, (1982).

COUTURIE J.P. (1977)

Le massif granitique de la Margeride (Massif Central Français).
Ann. Fac. Sci. Clermont, n° 62, 319 pp.

CZAMANSKE G.K., WONES D.R. (1973)

Oxidation during magmatic differentiation, Finmarka Complex, Oslo Area Norway : part 2 - the mafic silicates.
Journ. petrol. , V. 14, n°3, pp 349-380.

D'ARCO P. (1982)

Contribution à l'interprétation géothermométrique et géobarométrique des paragenèses calco-alkalines de l'arc des Petites Antilles : cristallisation fractionnée de la série du Quill (Ile de Saint Eustache)
Thèse 3^e cycle, Brest, 1982.

DAUBREE A. (1867)

Classification adoptée pour la classification des roches du Muséum d'Histoire Naturelle de Paris.
Masson, ed. 1 vol. 47 pp.

DEBON F. (1975)

Les massifs granitoïdes à structure concentrique de Cauterets-Panticosa (Pyrénées Occidentales) et leurs enclaves.
Mém. Sci. de la terre, n° 33, Nancy, 1 vol., 420 pp.

DEER W.A., HOWIE R.A., ZUSSMAN J. (1965)

Rock forming minerals.
John Wiley, New-York, 5 vol.

DEMEULEMEESTER R. (1982)

Contribution à l'étude radiométrique à l'Argon et au Strontium des massifs cristallins externes (Alpes françaises).
Thèse 3^e cycle, Grenoble, 1 vol. 228 pp.

DESTHIEUX F., VERNET J. (1968)

Les failles intenses du flanc Nord du Rochail.
Géol. Alpine, t. 44.

DESTHIEUX F., VERNET J. (1970)

Nouvelles données pétrographiques et structurales sur la région du Lauvitel (massif du Pelvoux).
Géologie Alpine, t.46, 1970, p. 67-76.

DIDIER J., ROQUES M. (1959)

Sur les enclaves des granites du Massif Central Français.
C.R.A.S., t.248, p. 1839.

DIDIER J. (1964)

Etude pétrographique des enclaves de quelques granites du Massif Central Français.
Ann. Fac. Sc. Clermont, n°23, 254 pp.

DIDIER J. (1973)

Granite and their enclaves.
Elsevier Publi. Comp. 1 vol, 393 pp.

DIDIER J. (1983)

Indications génétiques fournies par la distribution des principaux types d'enclaves dans les granitoides.
C.R.A.S. Paris, 296, 765-767.

EGGLER D.H. (1972)

Amphibole stability in H₂O undersaturated calc-alkaline melts.
Earth planet Sci. lett., 15, 28-34.

ERNST W.G. (1968)

Amphiboles.
Springer - Verlag - Berlin, New-York, 125 pp.

FABRIES J., CONQUERE F., ARNAUD G. (1984)

The mafic silicates in the Saint Quay-Portrieux gabbro-diorite intrusion : crystallization conditions of a calc-alkaline pluton.
Bull. Mineral. (1984), 715-736.

FONTEILLES M. (1968)

Les mécanismes de la métasomatose.
Bull. Minéral., vol. 101, pp 166-194.

FOSTER M.D. (1960)

Interpretation of the composition of trioctahedral micas.
U.S. Geol. Survey Prof. Paper, 354 p., 49 pp.

FOURNET J. (1861)

Note sur les roches éruptives modernes du Lyonnais.
Bull. Soc. Géol. Fr., 2^e série, 18 , pp 677-678.

GAGNY C. (1968)

Pétrogénèse du granite des crêtes - Vosges méridionales, France.
Thèse ès Sciences, Nantes, 1 vol. 481 pp.

GAGNY C. (1978)

Vaunérites et durbachites sont des cumulats de magma granitique - (l'exemple du magma des crêtes, Vosges).
C.R. Acad. Sci, Paris, D., t.287, pp 1361-1364.

GASQUET D. (1979)

Etude pétrologique, géochimique et structurale des terrains cristallins de Belledonne et du Grand Châtelard traversés par les galeries E.D.F. Arc Isère - Alpes françaises.
Thèse 3° cycle, Grenoble, 1979.

GAY N.C. (1968)

The motion of rigid particles embedded in a viscous fluid during pure shear deformation of the fluid.
Tectonophysics 5, pp 81-88

GIDON M. (1979)

Le rôle des étapes successives de déformation dans la tectonique alpine du Massif du Pelvoux.
C.R. Acad. Sc. Paris, 288, p.803-806.

GIRAUD P. (1952)

Les terrains métamorphiques du Massif des Grandes Rousses.
Bull. Soc. Geol. France - 6° série - Tome 2, pp 379-402.

GIORGI L. (1979)

Contribution à l'étude géologique des terrains cristallins du massif des Grandes Rousses, Isère, France.
Thèse 3° cycle, Grenoble, 1 vol.

GIORGI L., GIRAUD P., VACHARD D. (1979)

Sur la présence de micro organisme d'âge Cambrien dans les schistes cristallins du versant occidental du Massif Cristallin Externe des Grandes Rousses (Alpes occidentales).
CRAS, t. 288, série D. p 1070 - 1082.

GIORGI L., GIRAUD P., VIVIER G. (1979)

La série cristallophylienne du versant occidental du Massif Cristallin Externe des Grandes Rousses.
7° R.A.S.T. Lyon, 1979, 218 p.

GORBATSCHEV R. (1970)

Distribution of tetrahedral Al and Si in coexisting biotite and Ca-amphibole.
Contrib. Mineral. Petrol., v.28, n°3, pp 251-258

GRAVIOU P. (1984)

Pétrogénèse des magmas calco-alkalins : exemples des granitoïdes Cadomiens de la région Trégorroise (Massif Armoricaïn).
Thèse 3^e cycle, Rennes.

GREEN T.H., RINGWOOD R.E. (1968)

Genesis of the calc-alkaline igneous rock suite.
Contrib. Mineral. Petrol. 18, 105-162.

GREEN T.H., WATSON E.B. (1982)

Crystallization of apatite in Natural Magmas underr High Pressure, Hydrous Conditions, with particular reference to "Ozogenic" rocks series.
Contrib. Mineral. Petrol. (1982). 79. 96-109.

GREENLAND L.P., GOTTFRIED D., TILLING R.I. (1968)

Distribution of manganese between coexisting biotite and amphibole in plutonic rocks.
Geoch. Cosmoch. Acta, 1968, vol.32, pp 1149-1163.

GROS Y. (1974)

Etude pétrologique et structurale du Beaufortin (Nord de Belledonne).
Thèse 3^e cycle, Grenoble.

HARKER A. (1909)

The natural history of igneous rocks.
New-York - Macmillan ed., 384 p.

HARRY W.T. (1950)

Aluminium replacing silicon in some silicate lattices.
Min. Mag., 29, 142-149.

HEINRICH E.W. (1946)

Studies in the mica group : the biotite -phlogopite series.
Amer. Journ. Sci., v 244, pp 836-848.

HELLMAN P.L., GREEN T.H. (1979)

The role of sphene as an accessory phase in the high pressure partial melting of hydrous mafic compositions.
Earth and Planetary Sci-Lett. 42 (1979) 191-201.

HELZ R.T. (1973)

Phase relations of basalts in their melting range of PH₂O : 5 kb as a function of oxygen fugacity. Part I : mafic phases.
Journ. Petrol. , pp 249-302.

HELZ R.T. (1982)

Phase relations and compositions of amphiboles produced in studies of the melting behaviour of rocks.

In : VEBLEN D.R. RIBBE R.H. (eds) Amphiboles : petrology and experimental phase relations.

Mineral Soc. Am. Reviews in Mineralogy, vol 9B, pp 279-347.

HOLLOWAY J.R., BURNHAM C.W. (1972)

Melting relations of basalt with equilibrium water pressure less than total pressure.

J. Petrol. 13, 1-29.

JAKES P., WHITE A.J.R. (1972)

Major and trace elements abundances in volcanic rocks of orogenic areas. Geol. Soc. Amer. Bull, 83 pp 29-40.

JAUPART C., BRANDEIS G., ALLEGRE C.J. (1984)

Sur l'existence d'une couche stagnante à la base des chambres magmatiques convectives.

10° R.A.S.T. Bordeaux -1984)

JOHANNSEN A. (1931-1939)

A descriptive photography of the igneous rocks.

Univ. Chicago Press - Illinois. Part II, 5° ed., 1958.

JUNG J., BROUSSE R. (1959)

Classification modale des roches éruptives utilisant les données fournies par le compteur de points.

Masson ed. 1 vol. 122 pp.

LACOMBE J.C. (1970)

Etude pétrographique de la partie orientale du massif des Ecrins, Pelvoux ; le complexe volcano-sédimentaire.

Thèse 3° cycle, Grenoble.

LACROIX A. (1893)

Les enclaves des roches volcaniques.

Protat ed., Mâcon, 770 p.

LACROIX A. (1917)

La composition chimique de la vauugnérinite et la position de cette roche dans la systématique.

Bull. Soc. Fr., Min., t. 11, p. 158-162.

LAMEYRE J. et BOWDEN P. (1982)

Plutonic Rock Type Series : discrimination of various granitoids series and related rocks.

J. Volcan. Geoth. Res., 14, p. 169-186.

LAMEYRE J. (1958)

La partie Nord du massif des Grandes Rousses.
(TLG, t.34)

LAMEYRE J. (1980)

Les magmas granitiques : leurs comportements, leurs associations et leurs sources.
Mém. h. sér. Soc. Géol. de France, 1980 n°10.

LAMEYRE J., AUTRAN A. (1980)

Les granitoïdes de France - extrait de : Evolutions géologiques de la France.
Mém. BRGM n°107, pp 51-97

LAPPARENT A. de (1893)

Traité de géologie.
Ed. Masson - 3^e ed. , 2 vol. 1645 pp.

LA ROCHE H. de, LETERRIER J. (1973)

Transposition du tétraèdre minéralogique de Yoder et Tilley dans un diagramme chimique de classification des roches basaltiques.
C.R. Acad.Sci., Paris, t. 276, D, pp 3115-3118.

LA ROCHE H. de (1964)

Sur l'expression graphique des relations entre la composition chimique et la composition minéralogique quantitative des roches cristallines.
Sci. de la terre -Nancy t. IX, n°3, pp 293-337.

LEAKE B.E. (1965)

The relationship between tetrahedral aluminium and the maximum possible octahedral aluminium in natural calciferous and subcalciferous amphiboles.
Amer. Mineral., vol.50, n°7-8, pp 843-851.

LEAKE B.E. (1968)

A catalog of analyzed calciferous and subcalciferous amphiboles together with their nomenclature and associated minerals.
Geol.Soc. Amer. Spec. Paper n°98, 210 pp.

LEAKE B.E. (1978)

Nomenclature of amphiboles.
Amer. Mineral. Vol. 63, page 1023-1052 (1978)

LE FORT P., PECHER A. (1971)

Présentation d'un schéma structural du Haut Dauphiné cristallin.
C.R.A.S. Tome 273, pp 3-5.

LE FORT P. (1973)

Géologie du Haut Dauphiné (Alpes françaises)
Etude pétrologique et structurale de la partie occidentale.
Sc. de la terre - Nancy - Mém. 25.

LE FORT P. , PECHER A. (1981)

Présentation d'un schéma structural du Haut Dauphiné pour l'excursion sur les granitoïdes du cristallin externe des Alpes françaises, Sept. 1981.

LEMOINE M. , GIDON M., BARFETY J.M. (1981)

Les Massifs Cristallins Externes des Alpes occidentales : d'anciens blocs basculés nés au lias lors du rifting tethysien.
C.R. Acad. Sci. Paris. t. 292 (1981).

LETERRIER J. (1972)

Etude pétrographique et géochimique du massif granitique du Quérigut (Ariège)
Thèse ès Sciences, Nancy, 1 vol. 292 pp.

LETERRIER J. , DEBON F. (1978)

Caractères chimiques comparés des roches granitiques et de leurs enclaves microgrenues. Implications génétiques.
Bull. Soc. Geol. France, 1978 (7), txx, n°1, p3. 20.

LORY Ch. (1981)

Sur les schistes cristallins des Alpes occidentales et sur le rôle des failles dans la structure géologique de cette région.
Bull. Soc. Géol. Fr. (3) 9, p. 652-679.

MARRE J. (1975)

L'écoulement magmatique des matériaux homogènes dans le complexe éruptif de Quérigut (Pyrénées, France).
Pétrologie 1, pp 17-36.

MARRÉ J. (1982)

Méthode d'analyse structurale des granitoïdes.
Manuels et méthodes, vol. 3., BRGM.

MENOT R.P., BONHOMME M.G., VIVIER G. (1985)

Upper viscan cooling ages of amphiboles - isotopic evidence of a late variscan nappe tectonic in the Belledonne massif (French External Alps).
Terra Cognita, vol. 5, n°2-3, D.18, 1985.

MENOT R.P., VIVIER G. (1986)

Décrochements et chevauchements varisques dans le massif de Belledonne.
11° R.A S.T 1986

MERGOIL DANIEL J. (1970)

Les feldspaths potassiques dans les roches métamorphiques du Massif Central Français.
Ann. Fac. Sci. Clermont, N°é, 1 vol., 325 pp.

MICHEL R. , BUFFIERE J.M. (1963)

Sur la nature et l'origine de la syénite du Lauvitel (Massif du Rochail, secteur NW du Pelvoux, Isère)
C.R.A.S. 256, p 225-227

MICHEL R. , BUFFIERE J.M. (1963)

Caractères pétrographiques et pétrochimiques du granite du Massif du Rochail (secteur N.W. du massif du Pelvoux, Isère).
C.R.A.S. 256, p 1812.

MICHEL LEVY A., LACROIX A. (1887)

Sur le granite à amphibole de Vaugneray (vaugnérite du Fournet)
Bull. Soc. Fr. Minéral. Paris, tx, pp 27-31

MICHON G. (1979)

Typologie des vauagnérites des Monts du Lyonnais et du Haut Vivarais, Massif Central français.
Thèse 3° cycle, Lyon, 1 vol.

MICHON G. (1984)

Les vauagnérites de l'Est du Massif Central français. Apport de l'analyse statistique multivariée.
10° R.A.S.T. Bordeaux (1984)

MOORE A.C. (1976)

Untergrowth of prehnite and biotite
Mineral. Mag., v. 40, pp 526-529.

MUELLER R. (1972)

On the stability of biotite : a discussion.
Am. Mineral, 57, N. 162 pp 300-316.

NACHIT H., RAZAFIMAHEFA N., STUSSI J.M., CARRON J.P. (1985)

Composition chimique des biotites et typologie magmatique des granitoïdes.
C.R. Acad. Sc. Paris, t. 301, Série II, n° 11

NOCKHOLDS S.R. (1947)

The relation between chemical composition and paragenesis in the biotite micas of igneous rocks.
Amer. Journ. Sci., v. 245, pp 401-420.

OLIVER R.A., VITTOZ P. , BOISSET T. de, VIVIER G., KERR S.A. (1985).

Bimodal magmatism in the Western French Alps.
Journal of Open University.

ORSINI J.B. (1976)

Les granitoïdes hercyniens corso-sardes : mise en évidence de deux associations magmatiques.
Bull. soc. Geol. Fr., 18, pp.1203-1206.

ORSINI J.B. (1980)

Le batholite Corso-Sarde : anatomie d'un batholite hercynien.
Composition, structure, organisation d'ensemble, sa place dans la chaîne varisque française.
Thèse, Marseille, 390 p.

OZOCAK R. (1965)

Etude pétrographique des schistes cristallins et des granites de la haute vallée du Vénéon (Massif du Pelvoux).
Thèse 3^e cycle, Grenoble.

PAGEL M. , LETERRIER J., (1980)

The subalkaline potassic magmatism of the Ballons Massif (Southern Vosges, France) : shoshonitic affinity.
Lithos, 13, p.1-10.

PALM Q.A. (1970)

Vaugnérites et amphibolites. Deux types de roches amphiboliques dans les Cévennes à la hauteur de Largentière (Ardèche).
Bull. Soc. Géol. Fr, 6, t.4, pp 627-641.

PECHER A. (1970)

Etude pétrographique des schistes cristallins et des granites de la haute vallée du Vénéon (Massif du Pelvoux).
Thèse 3^e cycle, Grenoble.

PECHER A. (1986)

Notice de la carte géologique de la Mure - A paraître.

PETERLONGO J.M. (1960)

Les terrains cristallins des Monts du Lyonnais (Massif Central français).
Ann. Fac. Clermont, n°4, 1 vol. 187 pp.

PONCERRY E. (1981)

Contribution à l'étude géologique des granitoïdes de Valloreine, Beaufort, Lauzière, de leur encaissant et des minéralisations uranifères associées.
Alpes françaises.
Thèse 3^e cycle, Grenoble.

PUPIN J.P., TURCO G. (1981)

Le zircon, minéral commun significatif des roches endogènes et exogènes.
Bull. minéral. (1981), 104, 724-731.

RAASE P. (1974)

Al and Ti contents of hornblende, indicators of pressure and temperature of regional metamorphism.
Contr. Mineral. Petrol., v. 45, n°3, pp 231-236.

RAMSAY J.G. (1967)

Folding and fracturing rocks.
Mac. Graw Hill, New-York, 568 p.

RICHE A. (1887)

Etude géologique sur le Plateau du Lyonnais à l'occasion de l'établissement du chemin de fer de Lyon à Vaugneray et à Mornant.
Pitrat, ed. Lyon, 1 vol. 90 pp.

ROBINSON P., ROSS M., JAFFE M.W. (1971)

Composition of the anthophyllite gedrite series, comparisons of gedrite and hornblende, and the anthophyllite-gedrite solvus.
Ann. Mineral, 56, pp 1005-1041.

ROUBAULT M. (1963)

Détermination des minéraux des Roches.
Ed. Lamarre - Poinat - Paris.

SABATIER H. (1978)

Remarques préliminaires sur quelques vaugnérites du Massif Central.
C.R. Acad. Sci. Paris, t. 286 (9/1/78) série D, 9.

SABATIER H. (1980)

Vaugnérites et granites : une association particulière de roches grenues acides et basiques.
Bull. Mineral (1980) 103, 507-522.

SIMEON Y. (1979)

Etude pétrologique, géochimique et structurale du massif de Belledonne entre l'Arc et l'Isère (Alpes françaises).
Thèse 3° cycle, Grenoble.

STOUT J.H. (1972)

Phase petrology and mineral chemistry of coexisting amphiboles from Telemark, Norway.
Journ. Petrol., 13, pp 99-145.

STRECKEISEN A. (1973)

Classification and nomenclature of plutonic rocks.
Recommendations (I.V.G.S.).
N. Jb. Mineral - Mh, H4, pp 149-164.

STRECKEISEN A. (1976)

Classification of the common igneous rocks by means of their chemical composition.

b. Miner. Mh, H1, pp 1-15.

TEGYEY M. (1979)

Utilisation de géochimie - majeurs pour la cartographie des terrains cristallins.

TERMIER P. (1896)

Sur le sphène de la syénite du Lauvitel.

B.S.F. Min. t. 19, p 81-85.

TERMIER P. (1900)

Le Massif du Pelvoux et le Briançonnais.

Livret guide du VIII^e Congrès Géologique International.

TERMIER P. (1897)

Sur le graduel appauvrissement en chaux des roches éruptives basiques de la région du Pelvoux.

CRAS t. 114, p. 637-666.

TRÖGER W.E. (1935)

Spezielle Petrographie der Eruptivesteine.

Deutschen Mineral. Gesellschaft. 1 vol. , 342 pp.

VATIN PERIGNON N., AUMAITRE R., BUFFET G. (1974)

Spilitisation dans le Massif des Ecrins, Pelvoux : un cortège intrusif et effusif dolérito-spilitique.
Géologie Alpine, tome 50, p. 153-193.

VELDE D. (1969)

Les micas des lamprophyres : kersantites, Minettes et lamproïtes.
Bull. Soc. Fr. Miner. Crist. v. 92, n°2, pp 203-223.

VELDE D. (1969)

Minettes et kersantites, une contribution à l'étude des lamprophyres.
Thèse ès Sciences, Paris, 1 vol. 230 pp.

VELDE D. (1971)

Les kersantites - Etude des lamprophyres à plagioclases et biotites.
Bull. Soc. Fr. Crist. , t. 94, pp 411-426.

VERJAT J.L. (1980)

Etude pétrologique et structurale des terrains cristallins du Sud - Est de Belledonne à l'Ouest du Col du Glandon - Alpes françaises.
Thèse 3° cycle, Grenoble.

VERNET J. (1952)

Les déformations d'âge alpin du cristallin du Pelvoux à la lumière d'observations nouvelles.
Bull. Soc. Géol. Fr., 6° sér. t II.

VERNET J. (1962)

Sur la tectonique alpine du socle à la jonction Pelvoux -Grandes Rousses.
Bull. Carte Géol. Fr., 269, t.LX

VERNET J. (1965)

Les écaïlles du socle à la bordure extrême Nord du Massif du Pelvoux.
T.L.G. t. 41.

VERNET J. (1965)

La zone "Pelvoux-Argentera"
Etude sur la tectonique alpine du socle dans la zone des massifs cristallins externes du Sud des Alpes occidentales.
Bull. Carte Géol. Fr, n°275, tome LX.

VERNET J. (1974)

Sur la tectonique alpine des massifs cristallins dauphinois dans leur région culminante (Pelvoux, Grandes Rousses et leurs abords) et l'histoire de leur édification.
Géol. Alpine, t 50, 1974, p 195-236.

VIGNERESSE J.L. (1984)

" Vos granites sont-ils plus visqueux que les miens ? "
10° R.A.S.T. Bordeaux (1984)

WEGMAN E. (1963)

Tectonic patterns at different levels.
Trans.Proc. Geol. Soc. South Africa An. 66, 78 P.

WEISBROD A. (1970)

Influence de la pression lithostatique sur la stabilité des associations
basiques en environnement alcalin : le problème des vaugnérîtes.
C.R. Acad. Sci. Paris, t.270, D, pp 669-671

WONES D.R., EUGSTER H.P. (1965)

Stability of biotite : experiment, theory, and application.
Amer. Mineral. 50 , 1228-1272.

WYLLIE P.J., COX K.G., BIGGARD G.M. (1962)

The habit of apatite in synthetic systems and igneous rocks.
Journ. Petrol. , v. 3, n°2, pp 238-243.

Carte géologique détaillée de la France

- Carte de Briançon 1/80000° ed. 1901 - n° 189.
- Carte de Vizille 1/50000° ed. 1972.
Feuille XXXIII -35
- Carte la Mure 1/50000° - à paraître
Feuille XXXIII -36

Carte topographique

- Carte la Mure n°4 1/20000° (Rochail)
- Carte la Mure n°8 1/20000° (Péou de St Maurice)

THESE TROISIEME CYCLE
Géologie appliquée

Titre de l'ouvrage :

LES ENCLAVES BASIQUES DU GRANITE DU ROCHAIL
(SYÉNITE DU LAUVITEL)
HAUT DAUPHINÉ, ALPES FRANÇAISES
pétrographie et minéralogie

Nom de l'auteur : Tanneguy de BOISSET

Établissement : Université Scientifique, Technique et Médicale
de Grenoble

RÉSUMÉ

Le granite hercynien du Rochail (Haut Dauphiné, Alpes françaises) présente un certain nombre d'enclaves basiques, ou « Syénite du Lauvitel ».

La cartographie au 1/1000^e environ et les mesures effectuées sur ces affleurements (en particulier dans le secteur du refuge des Sources au Nord-Ouest du massif) confirment le caractère magmatique des relations acide-basique.

L'étude pétrographique et minéralogique des divers facies syénitiques a permis de distinguer trois paragénèses successives représentatives d'autant d'états physico-chimiques du matériel basique :

- une paragénèse précoce et profonde, largement déstabilisée : olivine (?), clinopyroxène, plagioclase basique, apatite trapue, zircon, Ilménite (?),
- une paragénèse de remplacement où apparaissent des minéraux hydratés. Les conditions de cristallisation sont de l'ordre de 5 Kb et 600 à 700°C : actinote/hornblende, biotite phlogopitique/biotite, plagioclase oligoclase, apatite prismatique, sphène ...
- une paragénèse à affinité alcaline leucocrate révélatrice de la contamination de l'enclave basique par l'encaissant granitique : feldspath potassique, apatite aciculaire, quartz, albite ...

La géochimie du matériel basique et de l'encaissant granitique infirme l'idée d'une parenté entre eux, mais rend plausible celle de l'origine cumulative des enclaves.

Les facies intermédiaires entre les termes extrêmes acide et basique s'avèrent être la conséquence de la contamination de l'enclave par l'encaissant. La métasomatose silico-potassique pourrait être invoquée.

L'hypothèse retenue fait intervenir un matériel basique d'origine profonde, cristallisé, emballé et fragmenté pendant son transport par un magma granitique monzonitique. Après la mise en place magmatique acide-basique tardi-hercynienne, l'ensemble est repris par la phase tectonique alpine.

MOTS-CLÉS

Magmatisme acide-basique ; Enclave basique ; Géochimie des majeurs ; Contamination ; Hercynien ; Haut Dauphiné ; Alpes françaises ; France.