

CHIMISME DU BRIANCONNAIS - GRAND SAINT-BERNARD ANTE-MESOZOIQUE (ALPES OCCIDENTALES) : UNE VUE SYNOPTIQUE

Jacqueline Desmons* et Alain Ploquin*

RESUME. Un inventaire a été fait des données chimiques disponibles (éléments majeurs essentiellement) concernant les ensembles anté-mésozoïques de la zone Briançonnaise - Grand Saint-Bernard (Alpes occidentales). Les roches ont été classées en trois catégories d'âges :

1) un socle ancien contenant des traces de faciès métamorphique amphibolite (ordovicien ou plus ancien). On y trouve des granitoïdes sub-alcalins probablement anatectiques, ainsi que des metabasites tholéitiques riches en Ti proches du MORB, certaines sous forme d'amphibolites rubanées alternant avec des gneiss plagioclasiques, l'ensemble représentant peut-être des termes bimodaux extrusifs ;

2) un socle dit récent, dépourvu de restes de métamorphisme anté-alpin de faciès amphibolite ; leur âge est anté-carbonifère supérieur, peut-être compris entre l'Ordovicien supérieur et le Silurien ou le Dévonien ; les roches basiques y sont tholéitiques, les roches acides y sont granophyriques et alcalines et les métasédiments montrent un héritage volcanique ;

3) le Carbonifère supérieur et le Permien, avec des granitoïdes alumineux et sub-alcalins et quelques termes calco-alcalins, ainsi que des roches effusives qui sont abondantes en Ligurie : rhyolites, puis latites-andésites et de nouveau des rhyolites qui sont potassiques et deviennent alcalines au sommet.

Les transformations métamorphiques (destruction du feldspath, chloritisation, muscovitisation, albitisation) se reconnaissent partout et sont spécialement importantes dans les termes effusifs du Permo-Carbonifère.

Ces séries de socle Briançonnais sont à paralléliser avec celles de l'Austro-Alpin et des Alpes méridionales.

ABSTRACT. The available chemical data (mainly major elements) concerning the pre-Mesozoic rocks of the Briançon - Bernhard Zone (Western Alps) have been compiled. These rocks have been classified as :

1) "Ancient basement rocks", where an (Ordovician or older) amphibolite metamorphic facies can be traced ; these rocks contain sub-alkaline, probably anatectic, granitoids as well as Ti-rich tholeiitic, MORB-like, metabasics ; some banded amphibolites interlayered with plagioclase gneisses possibly derive from bimodal effusives ;

2) "Younger basement rocks", devoid of any trace of pre-Alpine amphibolite facies metamorphism ; their age is pre-Upper Carboniferous, possibly comprised between Upper Ordovician and Silurian or Devonian ; they include tholeiitic metabasics, alkaline granophyres and metasediments showing a volcanic inheritance ;

3) Upper Carboniferous-Permian rocks, including aluminous and sub-alkaline granitoids, a few calc-alkaline granitoids, as well as effusives that are abundant in Liguria : rhyolites followed by latites-andesites, then again by rhyolites which are K-rich and become alkaline towards the top.

Metamorphic alteration (feldspar breakdown, muscovitisation, chloritisation, albitisation) is common, particularly in the Upper Carboniferous effusive rocks.

These Briançon basement series can be compared with Austro-Alpine and Southern Alpine series.

* C.N.R.S. ; C.R.P.G., B.P. 20, 54501 Vandoeuvre-lès Nancy Cedex.

INTRODUCTION

Entre la région du Simplon et celle de Gênes, la zone briançonnaise - Grand Saint-Bernard consiste en séries lithologiques de socle, antérieures au Paléozoïque supérieur, et en séries de couverture débutant par du Carbonifère et du Permien. Après les premières synthèses (Beaith, 1960-63), l'étude de cette zone a été approfondie ces dernières années du point de vue stratigraphique, chimique et structural et de la Suisse à la Ligurie (Burri, 1983 ; Thélin et Ayrton, 1983 ; Cabella et al., 1988 ; Cortesogno, 1984-86 ; Escher, 1988 ; etc.), tandis que le rôle fondamental joué dans l'évolution cinématique et métamorphique mésozoïque des Alpes par l'arc formé par la zone briançonnaise a maintenant été reconnu (Radelli et Desmons, 1987, 1988).

Devant la diversité des échantillonnages de ces séries anté-mésozoïques et la disparité des interprétations il nous est apparu utile d'effectuer une revue des données chimiques publiées et de tenter une certaine homogénéisation critique de l'information géochimique disponible. Guidés par les connaissances de l'un de nous (J.D.) du terrain, de la pétrographie et des métamorphismes des roches analysées, nous avons cherché à mettre en évidence les types et affinités des séries, à les comparer entre elles par delà les limites tectoniques des massifs et à tester des distinctions faites entre différentes séries sur la base d'arguments pétrographiques ou métamorphiques. Pour chaque ensemble de roches nous nous sommes efforcés, en estimant la dérive métamorphique éventuelle, de remonter au protolite, puis d'en définir le type et les affinités. Nous ne discuterons pas ici la signification du chimisme des séries en termes de milieu paléotectonique (cf. Pitcher, 1987).

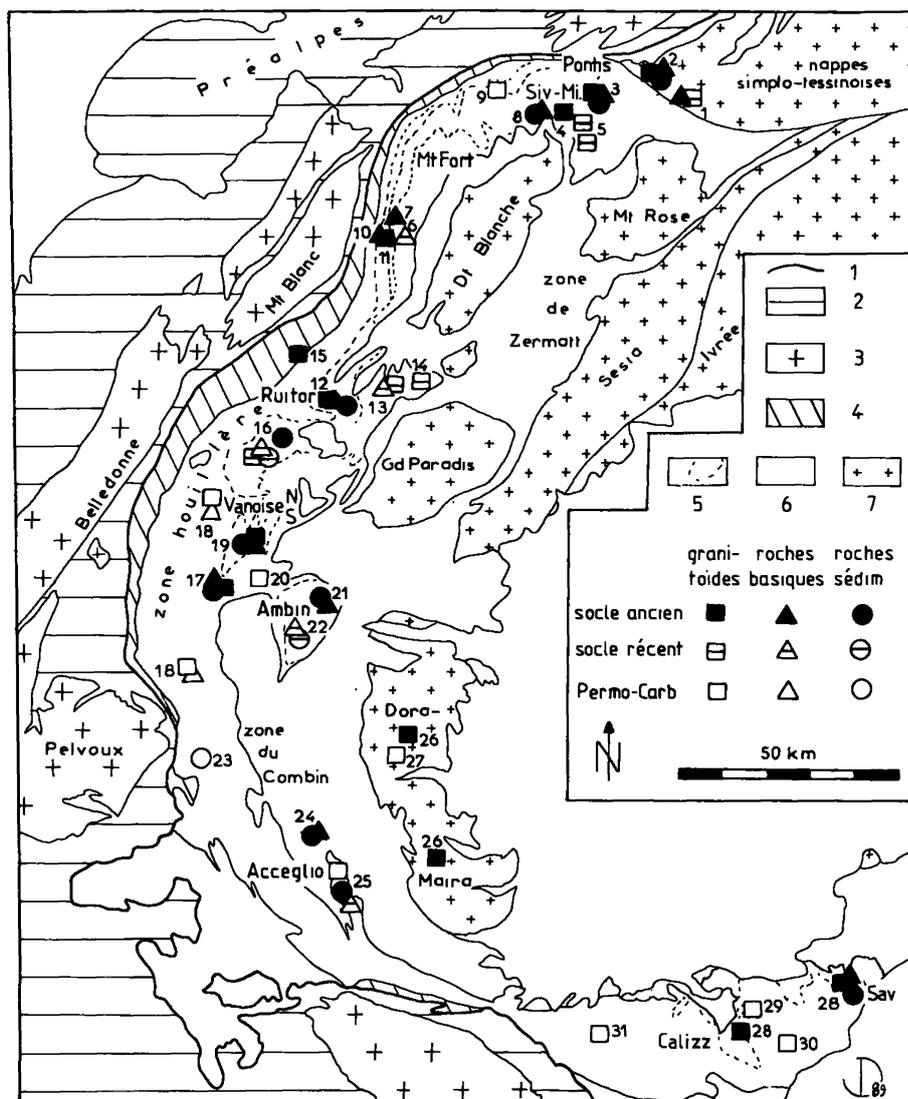


Fig. 1. Localisation schématique des échantillons de la zone briançonnaise - Grand Saint-Bernard. 1, front pennique ; 2, séries de couverture des zones externes et Préalpes ; 3, massifs cristallins externes ; 4, zone subbriançonnaise et zone valaisanne ; 5, zone briançonnaise et contours des socles ; 6, zone piémontaise indifférenciée (zone de Zermatt et zone du Combin), zone prépiémontaise et flyschs de l'Embrunais et de Ligurie ; 7, massifs cristallins internes, Austro-alpin et Alpes méridionales. Calizz., Calizzano ; Sav., Savona ; Siv-Mi ; Sivez-Mischabel. Les numéros des gisements échantillonnés sont repris dans le Tableau II.

ECHANTILLONNAGE, METHODES D'ETUDE

Les 970 analyses rassemblées ont été publiées avant mi-1988 (à une exception : Sandrone et al., 1989). Considérant que leurs caractères lithologiques ne sont pas foncièrement différents, nous avons ajouté aux échantillons briançonnais quelques-uns provenant d'unités souvent assimilées au Briançonnais (Berisal, Mte Leone) ou pour lesquelles une analogie lithologique est envisagée : ce sont des gneiss du massif pennique interne de Dora-Maira et des éléments détritiques continentaux de la zone piémontaise du Combin. Les métasédiments du Paléozoïque supérieur de la zone houillère n'ont pas été retenus dans l'échantillonnage. Dans beaucoup d'unités lithologiques la portée de l'interprétation est limitée par le nombre faible d'échantillons et par le manque de représentativité de l'échantillonnage, effectué par certains auteurs dans un but autre que la caractérisation de séries chimiques. La fig. 1 montre la distribution générale des unités compilées et discutées.

Parce qu'un grand nombre d'analyses n'ont porté que sur les éléments majeurs et parce que la plupart des échantillons ont subi une ou plusieurs phases de métamorphisme - anté-varisque, varisque(s) et/ou alpines - nous avons d'abord utilisé les diagrammes multicationiques avec lesquels un de nous (A.P.) était particulièrement familier. Ce sont les diagrammes :

- R₁ - R₂ (de La Roche et Leterrier, 1973 ; de La Roche et al., 1980 ; Batchelor et Bowden, 1985),
- Q - A (de La Roche et al., 1974 ; Ploquin, 1975),
- Q - F (de La Roche, 1966),
- (Al₃-K) - (Al₃-Na) (de La Roche, 1968),
- A - B (Debon et Le Fort, 1983),
- Q - B (Moine, 1974),
- Ti - Mg:(Mg+Fe) (Ploquin, inédit ; Guillot et al., 1986),

auxquels nous avons ajouté les diagramme AFM et TiO₂ - (FeO*+MgO) (Miyashiro, 1974) ainsi que, pour les analyses qui ont porté aussi sur les éléments en traces, les diagrammes suivants :

- Ti:100 - Zr - Yx3 (Pearce et Cann, 1973),
- Zr:Y - Zr (Pearce et Norry, 1979),
- Ti:Cr - Ni (Beccaluva et al., 1979).

Dans un but de concision seuls quelques-uns de ces diagrammes seront figurés¹. Dans les diagrammes les ensembles d'échantillons sont en général représentés par des nuages ou par des lignes ; on n'a pas tenu compte des points excentrés parce qu'ils ne sont le plus souvent ni interprétables ni représentatifs, affectés de mobilisations particulières ou éteints à la population considérée.

Les termes "alcalin" et "alumineux" ne sont pas forcément contradictoires, le caractère alumineux pouvant être secondaire et résulter d'une partie d'alcalins. Les diverses approches géochimiques graphiques développées au C.R.P.G. (de La Roche, Leterrier et al., 1980 ; de La Roche, Stussi et al., 1980 ; Debon et Lefort, 1983 ; Stussi et de La Roche, 1984) convergent vers une classification typologique des séries granitoïdiques en cinq associations :

- une association calco-alcaline (à granodiorite, etc.),
- une association sub-alcaline (à monzonite, etc.),
- une association alumino-potassique (à granite à deux micas, etc.),
- une association tholéitique (à plagiogranite, trondhjémite, etc.),
- une association alcaline ou peralcaline.

Selon sa spécificité chaque typologie mettra l'accent sur tels critères et affinera telle association ; ces typologies prolongent celles proposées par Didier et Lameyre (1969) et Orsini (1979). L'association "sub-alcaline" (c'est-à-dire proche de l'association alcaline) est encore trop souvent confondue, surtout si elle est magnésienne, avec une association calco-alcaline, parfois alors qualifiée de "monzonitique" ou de "potassique". L'association alumineuse peut souvent être rapprochée du type S, mais il convient de signaler que des granites alumineux peuvent être produits à partir d'orthogneiss (par exemple Ploquin et al., 1988).

¹ Les données analytiques (pourcentages d'oxydes), accompagnées des références bibliographiques, pourront être acquises auprès de la Banque de Données Artémise du C.R.P.G. en se référant à cet article et en précisant le mode de présentation souhaité : type de disquette, fichier papier.

La typologie des granitoïdes ne peut guère se priver de Na, K et Ca et il faut faire extrêmement attention à la mobilité de ces éléments, liée notamment à la destruction des feldspaths ou à la formation de minéraux phylliteux. La cohérence entre divers diagrammes permettra de déceler ces mobilités. Les paramètres R_1 et A seront très sensibles à des départs de Na, K et/ou Ca ; les valeurs $A > 100$ et $R_1 > 3000$, notamment, seront des cotes d'alerte efficaces. Les vecteurs "pertes de K, Na, Ca" (fig. 2 et 3) illustrent les incohérences éventuelles par rapport aux séries types ; ils montrent qu'il est difficile de mimer, aux dépens d'une lignée calco-alcaline, une lignée sub-alcaline.

Trois ensembles lithologiques ont été distingués (tableau I) :

- un ensemble à dominante magmatique acide : granitoïdes et termes volcaniques équivalents,
- un ensemble à dominante magmatique basique à intermédiaire,
- un ensemble sédimentaire,

	Roches magmatiques acides	Roches magmatiques basiques	Roches sédimentaires
Socle ancien (métamorphismes anté alpins de faciès éclogite ?, amphibolite et schistes verts ?)	Berisal, Stalden sup., Liddes Lacerandes, Ruitor, Z. Valaisanne Pte Rousse, Vanoise N, Sapey, Vanoise S, Zone piémontaise, Dora Maira, Nucetto, Barbassiria, Calizzano-Savona	Monte Leone-Simplon, Berisal, Stalden sup., Siviez-Barneuzza, Ruitor, Sapey, Vanoise S, Ambin-Clarea, Arenzano	Berisal, Stalden sup., Siviez Barneuzza, Ruitor, Sapey, Vanoise S, Clarea, Serre-Chevalier, Acceglio, Arenzano
Socle récent (pas de traces de faciès amphibolite anté-alpin)	Vals de Rhône-Savaranche, Cogne, Vanoise N, gr. d'Ambin	Métailler, Vals de Rhône-Savaranche, Vanoise N, Gr. d'Ambin, Acceglio	Vanoise N, gr. d'Ambin
Permo-Carbonifère (seulement métamorphismes alpins)	Monte Leone-Simplon et Ganterbrücke, Randa, Ginals, Tion?, Bonigersee p.p., Zone houillère (Stéph.), Acceglio (Perm.), Dora Maira ; C. Lisetto, Borgo, Osiglia, Ollano, Rio Castorello et Barbassiria (Namur.-Westph.) ; Eze et Calizzano (Stéph.) ; Guil et Melogno (Perm.)	Moosalp, Zone houillère	Moosalp, Tion?, Bonigersee p.p.

Tableau I. Ensembles lithologiques analysés et catégories d'âge.

et trois catégories d'âge :

- un "socle ancien", où se reconnaît une phase métamorphique anté-alpine de faciès amphibolite encadrée par une phase éclogitique antérieure et une phase de faciès amphibolite ou schiste vert postérieure (Bocquet [Desmons], 1974b) ; ce sont les séries des socles briançonnais internes et externes (principalement Ruitor, Vanoise S, Ambin, Sapey et socles ligures). Cette catégorie rassemble plusieurs unités tectoniques dont les séries lithologiques peuvent être diverses. Les âges proposés, paléozoïque inférieur ou précambrien supérieur pour les protolites et orlovicien moyen ou plus ancien pour le métamorphisme de faciès amphibolite, c'est-à-dire sardes² (pan-africains) ou plus anciens, sont encore très mal déterminés. Ces propositions d'âges s'appuient sur quelques-unes des mesures effectuées par les méthodes U-Pb, Rb-Sr et Sm-Nd, quoique les âges

² Nous employons le terme de sardes et non de calédonien pour souligner, en plus d'une différence chronologique, l'indépendance dynamique des événements orogéniques du domaine de l'Europe moyenne et méridionale et du domaine de l'Europe septentrionale (cf. Tollmann, 1986). La phase sarde appartient aux événements pan-africains.

obtenus reflètent le plus souvent des phases tardi-varisques ou alpines de métamorphisme postérieures aux intrusions (Jäger et al., in E.C.O.G, 1969 ; Köppel & Grünenfelder, in E.C.O.G., 1969 ; Del Moro et al., 1982 ; Bocquet [Desmons] et al., 1974 ; Stille et Tatsumoto, 1985 ; Desmons & Hunziker, 1989 ; Zingg, 1989) ;

- un "socle récent", dont les roches ne montrent pas de traces d'un métamorphisme ancien de faciès amphibolite sans que cela soit dû à une intensité plus forte du métamorphisme alpin. Ce sont par exemple les séries des massifs Briançonnais internes de la Vanoise N et la "Zona interna", que leur série lithologique différencie absolument du Carbonifère supérieur-Permien stratigraphiquement sus-jacent. En l'absence de toute donnée radiométrique, un âge intermédiaire entre celui du socle ancien et le Carbonifère supérieur est proposé pour ce socle récent par plusieurs auteurs, qui considèrent comme moins vraisemblable la superposition alpine de séries contemporaines mais d'évolution tectono-métamorphique différente (J.D. in Debelmas et al., notice de la feuille Moûtiers, sous presse ; Guillot, 1987 ; Desmons & Fabre, 1988). Plus précisément il pourrait s'agir de la période comprise entre l'Ordovicien supérieur et le Silurien, si on veut se fier à une comparaison avec l'Austro-Alpin et le Sud-Alpin où le Dévonien a un faciès de plateforme carbonatée ; il s'agirait donc de la période contemporaine de la fin de l'orogénèse calédonienne au sens de Ziegler (1986) ;

- le Carbonifère supérieur et le Permien, c'est-à-dire l'époque tardi-varisque ; cette catégorie comprend des roches intrusives du Briançonnais interne, des roches effusives de la Zone houillère et, en Ligurie, des termes effusifs dans la couverture du Briançonnais interne.

Les termes "sarde" (ou "pan africain") et varisque" s'appliquent ici à des tranches d'âges. Le cadre chronologique auquel nous nous référons diffère de celui mis en évidence dans le Massif central français (Ledru et al., 1989), mais correspond à celui utilisé dans les Alpes orientales et méridionales ainsi que dans une grande partie de l'Europe varisque (par exemple Behr et al., 1984 ; Frisch et al., 1984 ; Ziegler, 1986 ; Sassi et al., 1987).

Le tableau II résume les données et interprétations proposées.

ROCHES MAGMATIQUES ACIDES

A. Socle ancien

Une grande partie des granitoïdes rassemblés est constituée de granites peu colorés (peu caféiniques) (fig. 2). Lorsqu'elles ne comprennent pas de termes plus colorés, ces populations sont difficiles à interpréter car elles coïncident avec le domaine de convergence des granites évolués et des granites anatectiques. Par ailleurs, dans le diagramme $R_1 - R_2$, un départ de Na, K et Ca, le plus souvent lié à un métamorphisme de faciès schiste vert, se traduit par un étirement du nuage vers des valeurs plus élevées de R_1 : avant d'interpréter une distribution dans le diagramme $R_1 - R_2$ il faut donc s'assurer de l'absence de migration de ces éléments ou du style de migration s'il y en a une, en faisant intervenir des arguments pétrographiques et d'autres diagrammes tels que Q - A, Q - F ou A - B. Ce domaine des granites leucocrates est pour Batchelor et Bowden (1985, leurs fig. 4 et 6) celui de "magmas crustaux" ou "leucogranites à deux micas anatectiques, syn-collision". Il comprend des unités de gneiss ocellés dont nous avons parfois pu identifier le type de lignée : Berisal (sub-alkalin), Stalden supérieur (sub-alkalin), Ruitor (sub-alkalin), ainsi que Sapey, Nucetto, Dora-Maira et Calizzano-Savona, discutés ci-dessous. Notons que quelques échantillons du Ruitor ont livré des zircons dont la typologie indique une origine anatectique (Baudin, 1987).

Nom de l'unité lithologique	Pétrographie	Métamorphismes et âges	Catégorie d'âge	Nb. anal. bibliographiques	Références	Caractérisation chimique	Remarques
1 M. Leone, Gantelbr.	orthogneiss ocellé, gneiss ocellé	sch. v.(A)	Permo-Carb.?	10	39	granite sub-alkalin K	
1 M. Leone, Simplon	orthogneiss ocellé	sch. v.(A)	Permo-Carb.?	4	39	granite calco-alkalin	
2 Berisal	amphibolite	amph.(pV)+sch.v.(A)	socle ancien	4	37	basalte alcalin	
idem	orthogneiss ocellé	idem	socle ancien	11	39	granite leucocrate sub-alkalin	
idem	"hornblendite"	idem	socle ancien	20	37, 38	picrite ou basalte à olivine, cumulats à forstérite	
idem	amphibolite à grenat	idem	socle ancien	10	37, 38	basalte à olivine, riche en Ti ; tholéitique	
idem	amphibolite à plagioclase	idem	socle ancien	15	37, 38	basalte andés., andésite, tend. sous-saturée, thol.	
idem	amphibolite rubanée	idem	socle ancien	11	37, 38	basalte tholéitique, p.p. calco-alkalin	destr. du plagioclase et albitis.
idem	gneiss plagioclasié	idem	socle ancien	19	37, 38	magmatisme acide sodique (plagiogranite?)	
idem	micaschiste à 2 micas	idem	socle ancien	5	37	grauwacke-péltique	
3 Stalden sup.	orthogneiss ocellé	idem	socle ancien	12	39	granite leucocrate sub-alkalin	muscovitisation
idem	amphibolite	idem	socle ancien	4	39	p.p. tholéite	chloritisation
idem	métasédiments	idem	socle ancien	4	39	grauwacke	
4 Bonigersee	gneiss ocellé	idem	Permo-Carb.?	12	39	p.p. granitoïde, arénite arkos. très immature?	mylonitisation
idem	porphyre quartzifère	idem?	Permo-Carb.?	2	39	granite alcalin K	
5 Randa	orthogneiss ocellé, apélite, blastomylonite	sch.v.(A)	Permo-Carb.	33	39, 40	granite (a) alumineux plagiocl., (b) + alcalin, plagiocl., (c) granitique (sub-)alcalin,	(c) variation antithétique Na-K ; (d) alumineux par chloritisation ?
5 Moosalp	gneiss	idem	Permo-Carb.	7	39	p.p. kératophyre? quelques grauwackes	
idem	métabasite	idem	Permo-Carb.	1	39	basalte, composante détritique	
5 Ginals	gneiss leucocrate	idem	Permo-Carb.	1	39	granite alcalin	
6 Mt Fort (Métailler)	métabasites	amph.(pV)+gl.+sch.v.(A)	socle récent	6	2	tholéite riche en Ti	dérive alumineuse (pyroclastite?)
7 Siviez	métabasites	amph.(pV)+sch.v.(A)	socle ancien	8	2	basalte tholéitique	spilitis. ; dérive alumin. (+ séd.?)
8 Siviez-Barneua	schiste ocellé albitique	sch.v.(A)	socle ancien?	19	36	grauwackes + shales alumineuses à chlorite	± albitisation, muscovitisation
idem	métabasite	amph.(pV)+sch.v.(A)	socle ancien?	3	36	p.p. basalte alcalin ?	spilitisation
9 Siviez-Tion	gneiss mylonitique	sch.v.(A)	Permo-Carb.?	8	39	granite leucocr. alcalin ou arénite très immature?	albitisation
10 Pontis (= Ruitor)	métabasite	amph.(pV)+sch.v.(A)	socle ancien	7	2	basalte, composante détritique	séricitis. ; alumineux secondaire
11 Liddes-Lacerrandes	gneiss ocellé	idem	socle ancien	12	39	granitoïde sub-alkalin ?	enrichissement en Si
idem	filon quarzo-feldspathique	idem	socle ancien	3	39	enrichissement primaire en silice	
12 Ruitor	amphibolites diverses	amph.(pV)+gl.+sch.v.(A)	socle ancien	27	18, 5, 17, 1	basalte tholéitique ; p.p. alcalin à olivine	
idem	gneiss plagioclasié	idem	socle ancien	7	17, 1	magmatisme acide sodique	
idem	micaschiste et gneiss	idem	socle ancien	24	4	grauwackes Na-K, pélites	enrichiss. en Si, muscovit.
idem	métakératophyre	idem	socle ancien	4	4	kératophyre: plagioclasié	
idem	gneiss ocellé	idem	socle ancien	4	4	granite leucocrate sub-alkalin	
13 "Zona interna"	métabasites	gl.+sch.v.(A)	socle récent	3	1	andésite-basalte andésitique, lignée tholéitique	dérive sédimentaire ?
idem	métagranophyre	idem	socle récent	4	6 (cf.31)	granophyre, alcalin	mobilisation des feldspaths
14 Cogne	diorite qzique, tonalite	idem	Permo-Carb.	3	12, 14	tonalite, calco-alkalin	
15 Pie Rousse	gneiss	amph.(pV)+sch.v.(A)	socle ancien?	1	3	granite leucocrate	
16 Vanoise N	métasédiments	gl.+sch.v.(A)	socle récent	47	16, 5, 29, 22	pépite à source volcanique ou Si-Na + grauwacke	
idem	métabasites (sills, filons)	idem	socle récent	50	16, 5, 29, 22	basalte tholéitique riche en Ti	p.p. spilitique
idem	métagabbro (masse méd.)	idem	socle récent	14	16, 29, 22	basalte tholéitique pauvre en Ti ; cumulats Mg	spilitisation
idem	roches leucocr., albit.(td)	idem	socle récent	9	16, 29, 22	albitite, rhyolite	hydrothermalisme:spilit.+chlorit.
idem	métakératophyre quartz.	idem	socle récent	7	22	kératophyre quartzique	
idem	roche quartzreuse	idem	socle récent	6	22	quartzite très pur ou rhyolite	si rhyolite : lessivage de Na
idem	micaschiste à grenat	amph.(pV)+gl.+sch.v.(A)	socle ancien	1	22	métakératophyre ?	
idem	granophyre	gl.+sch.v.(A)	socle récent?	3	33	granophyre, alcalin	mobilisation des feldspaths
17 Sapay	orthogneiss ocellé	sch.v.(A)	socle ancien	13	16, 18, 39	granite leucocrate peralumineux, anatectique ?	muscovitisation, perte Na et Ca
idem	"leptynite"	idem	socle ancien	14	16, 18, 39	granitoïde sub-alkalin ou alumineux	alumineux secondaire ?
idem	micaschiste	idem	socle ancien	2	33	shale	

18	Zone Houillère	idem	amphibolite métabasite, andésite "roche blanche"	idem idem sch.v.(A)	socle ancien Permo-Carb.	16	18, 17, 2, 30, 25, 27	basalte andésitique p.p. andésite calco ou sub-alc., p.p. thol. f.	albitisation, chloritisation albitisation variation d'alcalins albitisation, chloritisation
19	Vanoise S	idem	"porphyres et porphyre, microdiorite, microdiorites" dolérite, microgranite métabasites	amph.(pV)+gl.+sch.v.(A) idem	Carb. sup.	91	18, 23, 30, 28	dacite-andésite puis rhyolite, calco ou sub-alc. ? rhyolite à andésite, calco-alcalin ? + kératophyre ?	
20	Chaudannes	idem	orthogneiss	idem	socle ancien	6	16, 5, 20, 13	basalte (andés.), riche en Ti ; tholéitique granite leucocrate	spilit. ; dérive alumin. (+ séd.?) parfois départ d'alcalins
21	Clarea, (massif d'Ambin)	idem	micaschistes à jadéite	gl.+sch.v.(A)	socle ancien	25	16, 5, 20, 13	grauwacke Na-K, p.p. pépite rhyolite sub-alcaline	enrichissement en silice p.p. spilitisation
22	Ambin, (massif d'Ambin)	idem	métabasites	amph.(pV)+gl.+sch.v. idem	socle ancien	10	26, 19	basalte tholéitique	
23	Serre-Chevalier	idem	micaschiste, gneiss	gl.+sch.v.(A)	socle ancien	16	26, 19, 20	grauwacko-pélique, sodique	
24	Combin (Z. piém.)	idem	métabasites, métagabbro	gl.+sch.v.(A)	socle récent	12	26, 19, 31	basalte +andés., thol. riche en Ti (+ calco-alc?)	
25	Acceglio	idem	"leptynite"	idem	socle récent	11	26, 19, 33, 31	granitoïde alcalin	perte d'alcalins
26	Dora-Maira	idem	micaschistes	idem	socle récent	14	26, 19	shales et arkoses	
27	idem, Lusema	idem	gneiss	amph.(pV)+sch.v.(A)	socle ancien	1	33	grauwacke	enrich. en Na, variation Ca-Fe-Mg idem
28	Nucetto	idem	gneiss acides	idem	socle ancien	13	32	ortho + para	
28	Barbassiria	idem	roches basiques	idem	socle ancien?	2	32	spilité ?	
29	idem, Lusema	idem	porphyroïde	gl.+sch.v.(A)	Permien	13	24	rhyolite, sub-alcalin ?	
29	idem, Lusema	idem	gneiss à lawsonite	idem	socle récent	3	24	kératophyre quartzique	
29	idem, Lusema	idem	prasinite	idem	socle récent	7	24	tholéite (+ calco-alcalin ?), pyroclastite ?	
29	idem, Lusema	idem	micaschiste à biouite	amph.(pV)+gl.+sch.v. idem	socle ancien?	2	24	shale	
29	idem, Lusema	idem	orthogneiss	idem	socle ancien	13	41, 34	granite leucocrate peut-être sub-alcalin	alumineux par perte d'alcalins enrichissement en silice
29	idem, Lusema	idem	gneiss oeilé rubané	idem	Permo-Carb.?	4	41	granite leucocrate	
29	idem, Lusema	idem	diorite	gl.+sch.v.(A)	Permo-Carb.	14	35	diorite, calco-alcalin	
29	idem, Lusema	idem	porphyroïde	idem	Permo-Carb.?	4	41, 31	granitoïde calco-alcalin	
29	idem, Lusema	idem	gneiss	idem	Permo-Carb.?	7	41	granitoïde	
29	idem, Lusema	idem	orthogneiss oeilé	amph.(pV)+sch.v.(A)	socle ancien	4	9	granite leucocrate peralumineux, anatectique ?	perte d'alcalins, enrichiss. en Si muscovitisation, perte Na et Ca alumineux secondaire
29	idem, Lusema	idem	orthogneiss oeilé	idem	socle ancien	16	9, 15	granite leucocrate alcalin K	
29	idem, Lusema	idem	métarhyolite	sch.v.(A)	Carb. inf.	5	9	rhyolite alcaline	muscovit. et/ou chloritisation
29	idem, Lusema	idem	granophyre	idem	Permo-Carb.?	13	9	granitoïde alcalin	muscovit. et/ou chloritisation
29	idem, Lusema	idem	orthogneiss oeilé	amph.(pV)+sch.v.(A)	socle ancien	11	15, 21	granite leucocrate sub-alcalin ou alumineux	muscovitisation
29	idem, Lusema	idem	"andésite" (filon)	sch.v.(A)	Carb. sup.	8	10	laitie-andésite, sub-alcalin relativement alcalin, riche en Ti	chloritisation et séricitisation
29	Arenzano	idem	gneiss, orthogneiss, biouite	amph.(pV)+sch.v.(A)	socle ancien	8	8	para + ortho ?	albitisation, p.p. spilitisation
29	idem, Arenzano	idem	micaschiste	idem	socle ancien	3	8	K (milieu confiné?)	
29	idem, Arenzano	idem	amphibolite	idem	socle ancien	13	21, 8, 7	basalte riche en Ti, tholéitique	p.p. dérive alumineuse (+ séd.?)
29	idem, Arenzano	idem	métarhyolite, porphyre	sch.v.(A)	base Carb. sup	25	9/11/21	rhyolite leucocrate sub-alc. (Borgo calco-alc.?)	
29	idem, Arenzano	idem	Osiglia	idem					
30	Eze+Viola	idem	métavolcanite et tuf	idem	Carb. sup.	16	10, 11	laitie quartzique à laitie-andésite, sub-alcalin K	chlorit. et séricit., albit.
30	Ollano	idem	métarhyolite et clastes	idem	Carb. sup.	9	10, 11	rhyolite leucocrate sub-alcaline	
31	Melogno	idem	rhyolite, ignimbrite	idem	Permien	26	21	rhyolite, sub-alcalin puis alcalin K	albitisation surtout, enrich. en K

Tableau II. Résultats généraux. Les numéros à gauche des unités lithologiques sont repris de la fig. 1. Abréviations utilisées dans la colonne "métamorphismes et âges" : A, alpin s.l. ; amph., faciès amphibolite ; gl., faciès à glaucophane-jadéite ou à glaucophane-épidote ; lw-chl, faciès à lawsonite-chlorite-albite ; pv, pré-varisque ; sch.v., faciès schiste vert.

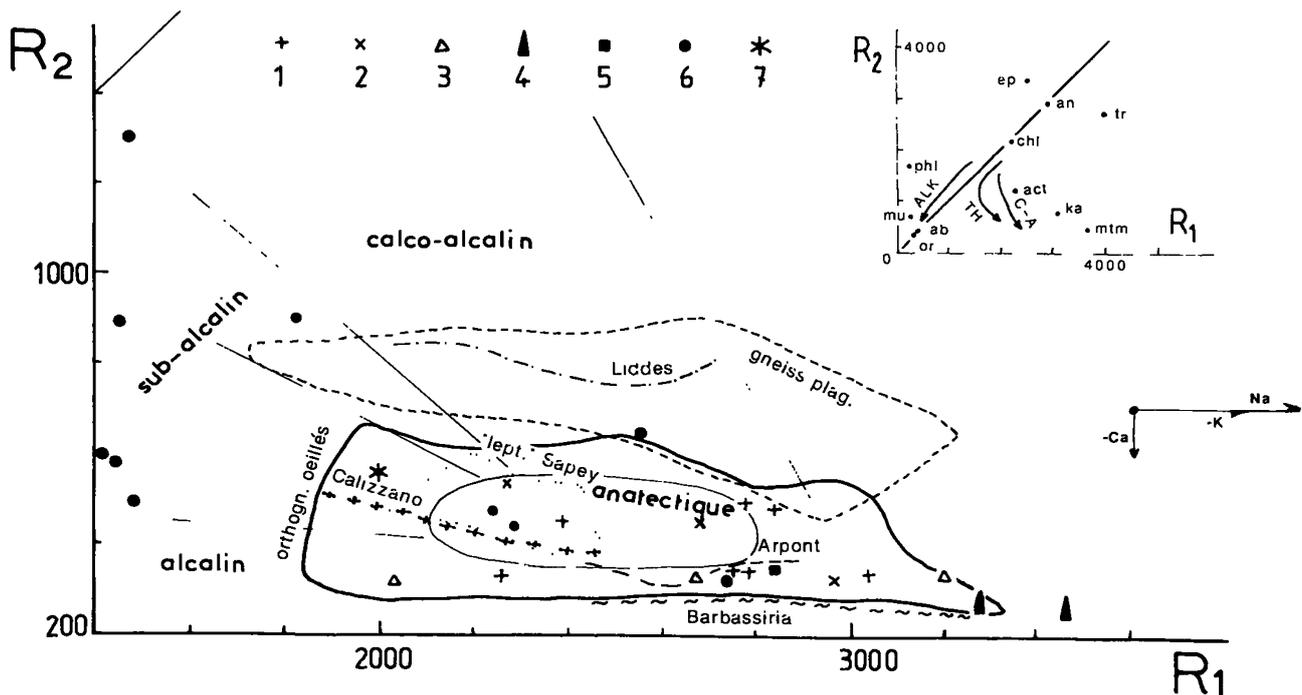


Fig. 2. Diagramme $R_1 (=4Si-11[Na+K]-2[Fe+Ti]) - R_2 (=6Ca+2Mg+Al)$, roches granitoïdiques du socle ancien. Le champ des gneiss ocellés comprend des échantillons de Berisal, Stalden sup., Ruitor, Dora-Maira ainsi que, individualisés par des symboles ou des lignes, des échantillons du Sapey, de Nucetto et de Calizzano. Le champ des gneiss plagioclasiques comprend des échantillons de Berisal, du Ruitor et de Vanoise S. Symboles : 1, Sapey ; 2, Nucetto ; 3, kératophyres quartziques du Ruitor ; 4, porphyres de Liddes ; 5, Pointe Rousse ; 6, zone du Combin. Abréviations de l'encart : ALK, lignée alcaline ; C-A, lignée calco-alcaline ; TH, lignée tholéitique ; ab, albite ; act, actinote ; an, anorthite ; chl, chlorite (clinocllore) ; ép, épidote ; ka, kaolinite ; mtm, montmorillonite ; mu, muscovite ; or, orthose ; phl, phlogopite ; tr, trémolite. Les vecteurs K, Na et Ca représentent le déplacement du point représentatif subissant une perte de 1 % de K_2O , Na_2O ou CaO (compte n'est pas tenu du nouveau calcul à 100 % ni de l'introduction de H_2O).

Les populations suivantes se distinguent de cet ensemble de granites peu colorés :

a) les gneiss ocellés de Liddes-Lacerandes dans la zone du Ruitor près du Grand Saint-Bernard, dont la composition chimique et les caractères des feldspaths n'ont pas permis à Thélin (1983) d'affirmer l'origine magmatique, malgré des caractères texturaux et minéralogiques semblables à ceux des gneiss ocellés de Stalden supérieur qui sont d'origine magmatique. Leur position en amande horizontale dans le diagramme $R_1 - R_2$ pourrait refléter une origine pélique (cf. fig. 5 de Batchelor et Bowden, 1985), mais les teneurs relatives en alumine et alcalins (fig. 3 et 15) seraient plus en faveur d'une origine magmatique. Ces gneiss semblent en fait avoir été affectés d'un début de séricitisation (perte d'alcalins, perte au feu plus élevée que les autres granitoïdes), le caractère alumineux serait ainsi secondaire et le caractère original probablement sub-alcalin ;

b) les orthogneiss blastomylonitiques de Barbassiria, qui ont été décrits par Del Moro et al. (1982) comme alcalins et par Cortesogno et al. (1983, 1986) comme métalumineux, calco-alcalins à tendance sub-alcaline potassique, affectés d'une perte de Ca, synorogéniques et de type S ou I. Ces orthogneiss se montrent ici de nature nettement leucocrate, alcaline potassique [diagr. $(Al)_3-K) - (Al)_3-Na)$ non présenté], mais avec un caractère alumineux acquis, lié à une perte d'alcalins. Ces gneiss sont plus riches en Si et plus pauvres en Al que ceux de Nucetto (cf. point ii ci-dessous). Comme nous le verrons plus loin, leur nature alcaline potassique pourrait les faire rapprocher des roches acides permo-carbonifères. Toutefois l'important rajeunissement de l'âge Rb-Sr, lié à la mobilisation des feldspaths (Del Moro et al., 1982), et la présence de quelques reliques structurales d'un métamorphisme anté-alpin (Cortesogno et al., 1986) font bien considérer ces orthogneiss comme anciens ;

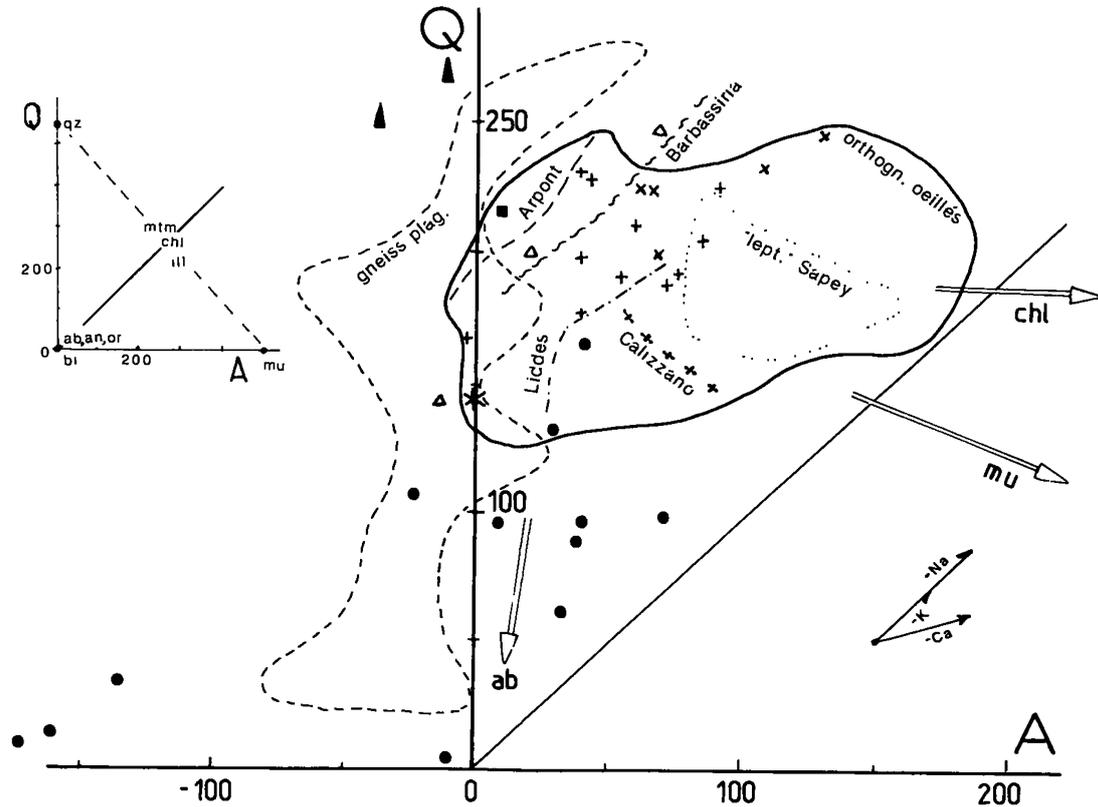


Fig. 3. Diagramme $Q (= [Si3] - [K + Na + 2/3 Ca]) - A (= Al - [K + Na + Ca])$, roches granitoïdiques du socle ancien. Les valeurs positives de A correspondent grosso modo à des valeurs de $Al_2O_3 (K_2O + Na_2O + CaO)$ supérieures à 1. Symboles, abréviations et vecteurs K, Na, Ca comme dans la fig. 2 ; en outre (encart) : bi, biotite ; ill, illite ; qz, quartz. Les grands vecteurs ab, chl et mu montrent la direction des dérives par albitisation, chloritisation et muscovitisation.

c) peut-être les gneiss ocellés de Calizzano-Savona, gneiss peralumineux (dans le diagramme Q - A le paramètre A a une valeur nettement positive : fig. 3), qui sont surtout marqués par une muscovitisation (perte de Na et aussi de Ca ?, gain relatif en K et Al ; c'est-à-dire destruction du plagioclase). Ils semblent avoir été à l'origine non pas calco-alcalins, mais sub-alcalins, ou encore alumineux, comme le confirmeraient les restites pélitiques qui y ont été mentionnées ;

d) les termes leucocrates ou gneiss à plagioclase qui forment les lits clairs des amphibolites rubanées (Berisal, Ruitor, Vanoise S). Dans ces gneiss leucocrates le caractère plagioclasiqne n'est affecté d'aucune tendance potassique, contrairement à ce que montrent les amphibolites rubanées elles-mêmes (diagr. Q - F non montré). Comparés aux roches basiques avec lesquels ils alternent, ces gneiss leucocrates ont des teneurs en TiO_2 très faibles (presque toujours de 0,1 à 0,8 %) et un rapport $Mg/(Mg+Fe)$ plus petit (voir ci-dessous le chapitre concernant les roches basiques et fig. 10). Ce sont les homologues des "leptynites"³ des "complexes leptyno-amphiboliques" du Massif central et autres socles paléozoïques français, interprétées diversement : comme méta-trondhjémites, méta-plagiogranites, anciennes volcanites bimodales ou encore méta-kératophyres quartziques (Santallicr et al., 1988, avec références antérieures). Sans l'aide du contexte et uniquement sur la base des éléments majeurs il est pratiquement impossible de trancher entre ces interprétations. Ici l'association avec des amphibolites évoque un complexe bimodal. Ces termes leucocrates montrent une forte variation des teneurs en quartz (cf. R_1 et A) tout en restant plagioclasiques, ce qui amène à proposer une affinité tholéitique c'est-à-dire plagiogranitique. (L'absence de variation Na-K tendrait à éliminer des affinités de type trondhjémitique ou kératophyrique quartzique). Nous verrons plus loin que les roches basiques associées sont elles-mêmes d'affinité tholéitique :

³ Sur l'emploi du terme "leptynite" dans les Alpes, voir Desmons et Hunziker (1989).

e) les clastes gneissiques acides inclus dans les calcschistes de la zone du Combin en Queyras pour lesquels une nature calco-alcaline et une source continentale sont envisagées par Saby et al. (1988) sur la base de la typologie des zircons et de la composition chimique. Les clastes analysés semblent en fait constituer une collection extrêmement hétérogène de termes d'origine magmatique et sédimentaire, de composition acide et même basique (roches ophiolitiques ?) et dont le chimisme a souvent été modifié de manière importante (fig. 10 et 14), avec une grande variation du total calcaïque et un enrichissement en Na (fig. 2, 3 et diagramme Q - F non présenté).

En outre on peut remarquer :

i) une dérive de quelques points vers des valeurs d'abscisse élevées. Dans certains cas (filons quartzo-feldspathiques de Liddes) cela peut s'interpréter comme indiquant dans certains cas (filons quartzo-feldspathiques de Liddes) un enrichissement originel en silice, dans d'autres (par exemple un échantillon du granite de l'Arpont en Vanoise S) un départ d'alcalins par métamorphisme ;

ii) les caractères chimiques voisins des gneiss ocellés de la zone du Sapey (anté-namuriens : Détraz, 1984) et de Nucetto en Ligurie, dont l'aspect pétrographique et la position structurale montrent des analogies remarquables (obs. J.D.). Tous ces gneiss ocellés sont peralumineux et vraisemblablement anatectiques ; ceux de la zone supérieure de Stalden n'en sont pas éloignés. Les points représentatifs de ces roches sont affectés d'une dispersion selon R_1 (fig. 2) que le diagramme Q - A (fig. 3) montre due à une richesse en muscovite liée à une perte de Na et Ca ;

iii) le caractère de granite normal peu perturbé du gneiss de la Pointe Rousse dans la zone valaisanne ;

iv) la nature primaire magmatique plutôt que sédimentaire (méta-kératophyre quartzique ?) du micaschiste à grenat du socle de Vanoise N (cf. fig. 2, 3 et 15) ;

v) les différences qui existent entre les "leptynites" du Sapey et les gneiss leucocrates associés aux amphibolites rubanées. Même si l'on néglige certains échantillons d'origine probablement sédimentaire, on ne peut dire si le caractère alumineux de ces roches magmatiques acides du Sapey est primaire ou acquis (diagr. Q - F non présenté) ; s'il est acquis la nature originelle a pu être sub-alcaline ; s'il est primaire, on devrait penser à une nature originelle pyroclastique ou à une modification métamorphique des feldspaths ;

vi) dans les kératophyres quartziques du Rutor une composition (originelle ?) à quartz et albite, ayant évolué vers une composition plus siliceuse, à quartz et muscovite (fig. 3) ;

vii) l'absence de tendance typologique du métagranite de l'Arpont en Vanoise S, qui est leucocrate ;

viii) le caractère alumineux des gneiss amygdalaires de Dora-Maira, qui est dû à une perte d'alcalins. A l'origine ces gneiss n'étaient certainement pas calco-alcalins, mais peut-être sub-alcalins.

B. Socle récent

La catégorie du socle récent comprend des roches dépourvues de traces du faciès amphibolite anté-alpin mais différentes des séries du Carbonifère supérieur et du Permien. Il s'agit de la presque-totalité des séries de Vanoise N (Desmons in Debelmas et al., notice de la feuille Moûtiers, sous presse ; Guillot, 1987 ; Desmons et Fabre, 1988) et de son prolongement dans la zone Briançonnaise interne des Vals de Rhône et Savaranche, la "Zona interna" des géologues italiens. Suivant une proposition de Desmons et Fabre (1988) nous y avons aussi rangé, à titre provisoire, les séries groupées par Gay (1970) dans le "Groupe d'Ambin" dans le massif du même nom et une partie de l'anté-Mésozoïque de la zone d'Acceglio. Ces dernières séries, les "plus vieux terrains monométamorphiques de la bande d'Acceglio" (Lefèvre et Michard, 1976) avaient déjà été rapprochées du Groupe d'Ambin alors que ces deux ensembles étaient considérés comme stéphano-permiens. L'âge des roches classées dans la catégorie du socle récent n'a pas encore été déterminé radiométriquement et la recherche d'acritarches ou de pollens y a été jusqu'à présent infructueuse. Il faut remarquer que, même si la contemporanéité de ces ensembles doit être un jour démontrée, cela ne signifiera pas pour autant qu'ils aient une position structurale identique.

Les seuls termes magmatiques acides contenus dans ces séries sont :

a) divers "granophyres", masses intrusives en Vanoise N et en vals de Rhône et Savaranche, qui sont des termes alcalins, mais avec une nette modification des feldspaths comme le montre le diagramme Q - A (fig. 4b) ; ils sont différents des gneiss du Sapey et des autres orthogneiss anciens (fig. 4a) ;

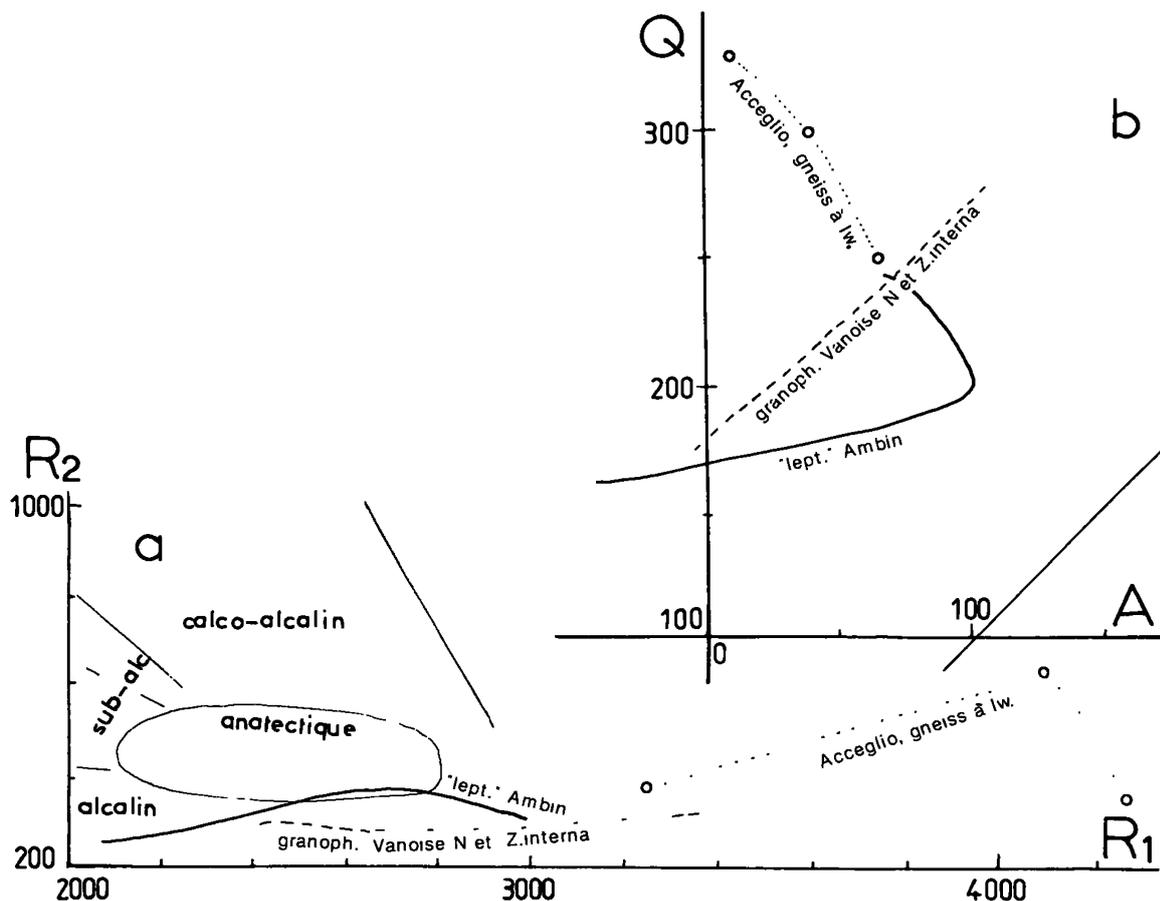


Fig. 4. Roches granitoïdiques du socle récent : a, diagramme R_1 - R_2 ; b, diagramme Q - A .

b) des gneiss "aplitiques", des "micaschistes leptynitiques" et "leptynites" du Groupe d'Ambin, interprétés comme tufs ou volcanites acides (Gay, 1970). Toutes ces roches sont nettement alcalines, mais leur composition se montre souvent perturbée par une perte d'alcalins ;

c) des gneiss à lawsonite en bancs à l'intérieur des prasinites à glaucophane de la bande d'Acceglio, décrits par Lefèvre et Michard (1976) comme ayant une composition chimique de kératophyre quartzique [fig. 4a, 4b et diagr. $(Al_3-K) - (Al_3-Na)$ non présenté], vraisemblablement modifiée (destruction des feldspaths) ;

d) diverses roches de Vanoise N, liées au magmatisme basique de la "masse médiane" et mentionnées plus loin : albitite et rhyolite peu modifiée ou transformée par hydrothermalisme.

C. Magmatismes acides à intermédiaires du Carbonifère supérieur et du Permien

Dans la partie interne de la zone du Grand Saint-Bernard, d'abondantes roches plutoniques acides sont considérées comme carbonifères ou comme permienes. Cette attribution d'âge repose sur le caractère apparemment monocyclique de leur évolution métamorphique qui semble donc seulement alpine. Il faut cependant rester prudent en ce qui concerne la valeur de ce critère, car un granite peut n'être guère transformé par un métamorphisme de faciès amphibolite ou schiste vert élevé et ne réagir que faiblement à une déformation lorsque la circulation des fluides est faible. L'âge de 235 ± 16 Ma (Trias moyen) obtenu par une isochrone Rb-Sr sur les gneiss de Randa (Hunziker, in E.C.O.G., 1969 ; comm. pers.) fournit seulement une limite inférieure d'âge. La zone houillère franco-italienne et l'ensemble des affleurements permo-carbonifères de Ligurie contiennent essentiellement des roches volcaniques ou hypovolcaniques dont le volume total est considérable.

1. Roches plutoniques.

Dans les gneiss ocellés de Randa (Mischabel, Valais), de gisement laccolitique, les groupements qui apparaissent dans les diagrammes ne coïncident pas entièrement avec les subdivisions faites par Thélin (1983, 1987) sur la base de critères de gisement (masse principale, apophyses frontales et lambeaux isolés). Nous distinguons quatre groupes (fig. 5 et 6) :

- un 1er groupe (a), très enrichi en quartz, à caractère secondairement très alumineux, plagioclasique (diagr. Q - F non présenté) ;

- un 2e groupe (b) enrichi en quartz, un peu plus alcalin, plagioclasique ;

- un 3e groupe (c), le plus nombreux, qui comprend les échantillons du corps principal ainsi que des aplites et faciès équigranulaires de bordure, proche de l'eutectique, granitique ainsi que le groupe suivant (diagr. Q - F non présenté), mais d'affinité (sub-)alcaline, où se voit une forte variation antithétique de Na et K ; les deux groupes (b) et (c) ne sont pas ou sont peu alumineux ;

- enfin un 4e groupe (d), très homogène, dont le caractère alumineux est peut-être primaire, peut-être lié à une chloritisation ; dans ce dernier cas la concentration des points dans la zone de convergence ne permet pas d'exclure une nature calco-alcaline ; les proportions de Nb, Y et Rb indiqueraient plutôt un milieu d'origine "syn-collision" (Pearce et al., 1984), tout comme d'ailleurs les échantillons des trois autres groupes. Ce groupe d comprend beaucoup des échantillons de l'apophyse frontale supérieure.

L'interprétation des différences entre ces quatre groupes dépend des relations originelles entre eux. S'ils sont cogénétiques, a et b seraient des transformations quartzo-albitiques micacées de la population c + d, a étant plus quartzo-micacé que b et d pouvant représenter des concentrations micacées de c (fig. 6). Ou bien il s'agit d'entités différentes ; dans ce cas a + b dériveraient d'un magma silico-sodique, différent du magma granitique peut-être d'affinité alcaline qui serait à l'origine de c.

Du groupe c, c'est-à-dire du corps principal de Randa, se rapprochent les gneiss de l'affleurement du Ganterbrücke dans la nappe du Monte Leone, qui amorcent une tendance (sub-)alcaline potassique. Par contre une tendance calco-alcaline se décèle dans les gneiss ocellés granitiques de la région du Simplon, toujours dans la nappe du Monte Leone (les valeurs de R2 sont plus élevées au Simplon qu'au Ganterbrücke). De leur côté les porphyres quartzifères du Bonigersee dans l'ensemble de Bielen et les gneiss hololeucocrates de Ginals, dans la zone des Mischabel (tous attribués provisoirement au Permo-Carbonifère parce qu'apparemment monocycliques), sont de nature alcaline, potassique pour ceux du Bonigersee qui sont un mélange de quartz, muscovite et un peu d'albite [fig. 5 et 6 et diagramme (Al₃-K) (Al₃-Na) non présenté].

S'ils sont bien magmatiques (voir aussi plus loin le chapitre des roches sédimentaires et fig. 16), les gneiss de Tion seraient alcalins et enrichis en silice ; ceux de Moosalp se dispersent beaucoup dans les diagrammes R - R₂ et Q - A (non montrés sur les fig. 5 et 6), mais certains d'entre eux se reportent au voisinage des groupes c et d de Randa. Les gneiss du Bonigersee, eux aussi d'origine discutée, nous apparaissent plutôt en majorité comme des granitoïdes affectés par la mylonitisation, en partie seulement comme des métasédiments (fig. 5, 6, 16 et diagramme Q - F non présenté).

La masse de diorite quartzique-tonalite de Cogne, non datée encore et peut-être d'âge tardi-varisque, est nettement calco-alcaline et donc chimiquement étrangère aux granophyres de son encaissant ; une enclave a une composition chimique de basalte à olivine.

Dans le massif pennique interne de Dora-Maira les métadiorites des vals Pellice et Chisone, nettement calco-alcalines, ne montrent aucune dérive métamorphique (sauf un terme folié, enrichi en silice et vraisemblablement chloritisé). Un âge permien a été proposé pour ces métadiorites (Sandrone et al., 1988) quoique leur chimisme intermédiaire entre plus dans le cadre du magmatisme stéphanien, comme nous le verrons ci-dessous. Elles sont accompagnées de dykes et d'inclusions basiques. Dans un dyke aplitique la destruction du plagioclase a entraîné une profonde modification de la composition chimique. Ces roches, pour lesquelles les auteurs des analyses suggèrent une origine par fusion partielle d'un protolite amphibolitique, ne sont pas très éloignées chimiquement de la tonalite ("diorite") de Cogne, cette dernière étant légèrement plus siliceuse : s'agit-il d'une convergence chimique ou d'une entité chronologique et magmatique ? D'autres orthogneiss du massif de Dora-Maira, eux aussi considérés comme tardi-hercyniens (les gneiss ocellés rubanés de Sandrone et al, 1986, ou gneiss ocellés homogènes de Vialon, 1966) se reportent dans le domaine de convergence granitique et sont enrichis en silice.

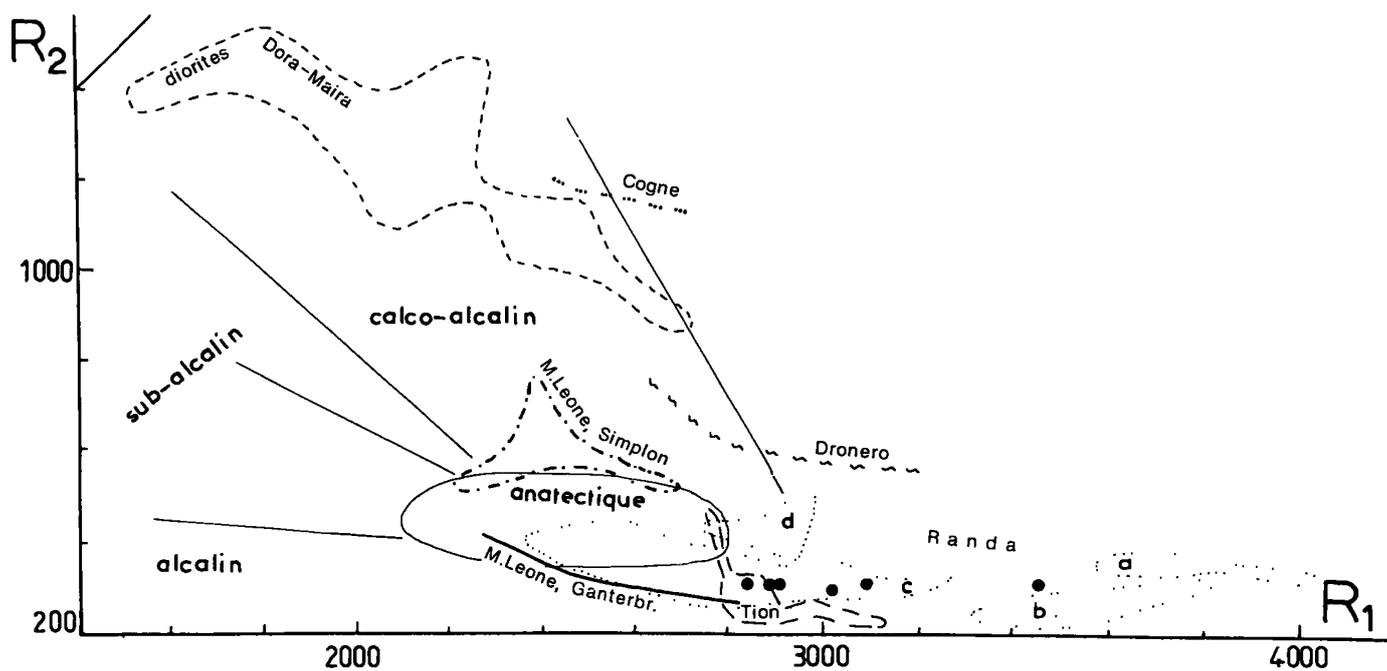


Fig. 5. diagramme $R_1 - R_2$, roches granitoïdiques permo-carbonifères. Les points représentent les gneiss du Bonigersee (dont la fig. 16 montre qu'une partie n'est pas faite de sédiments).

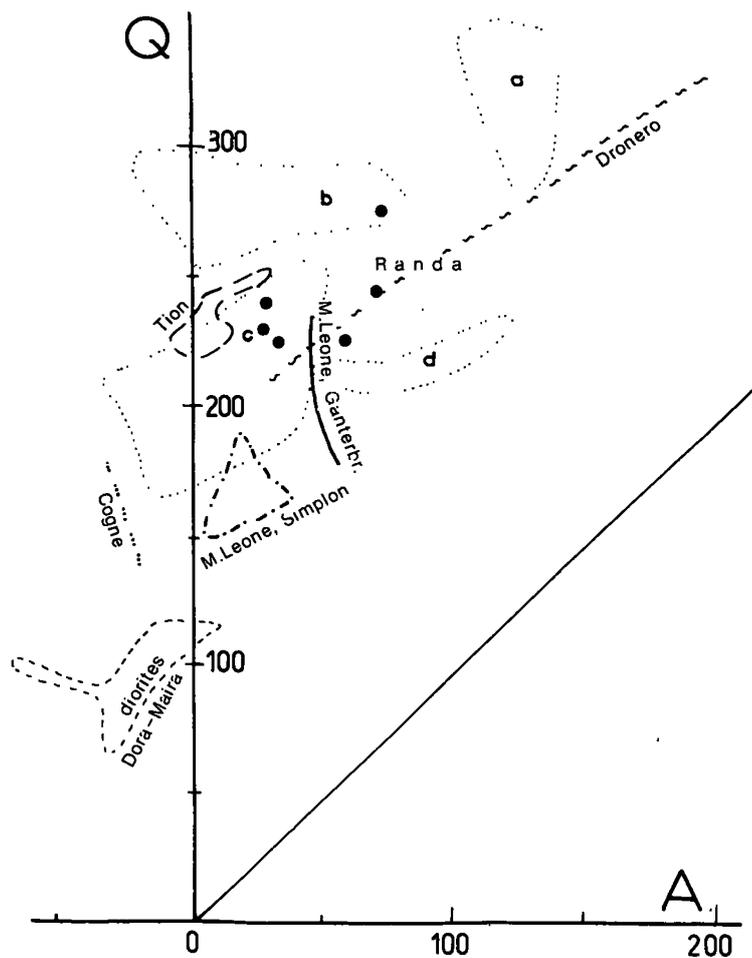


Fig. 6. diagramme $Q - A$, roches granitoïdiques permo-carbonifères. Symboles comme dans la fig. 5.

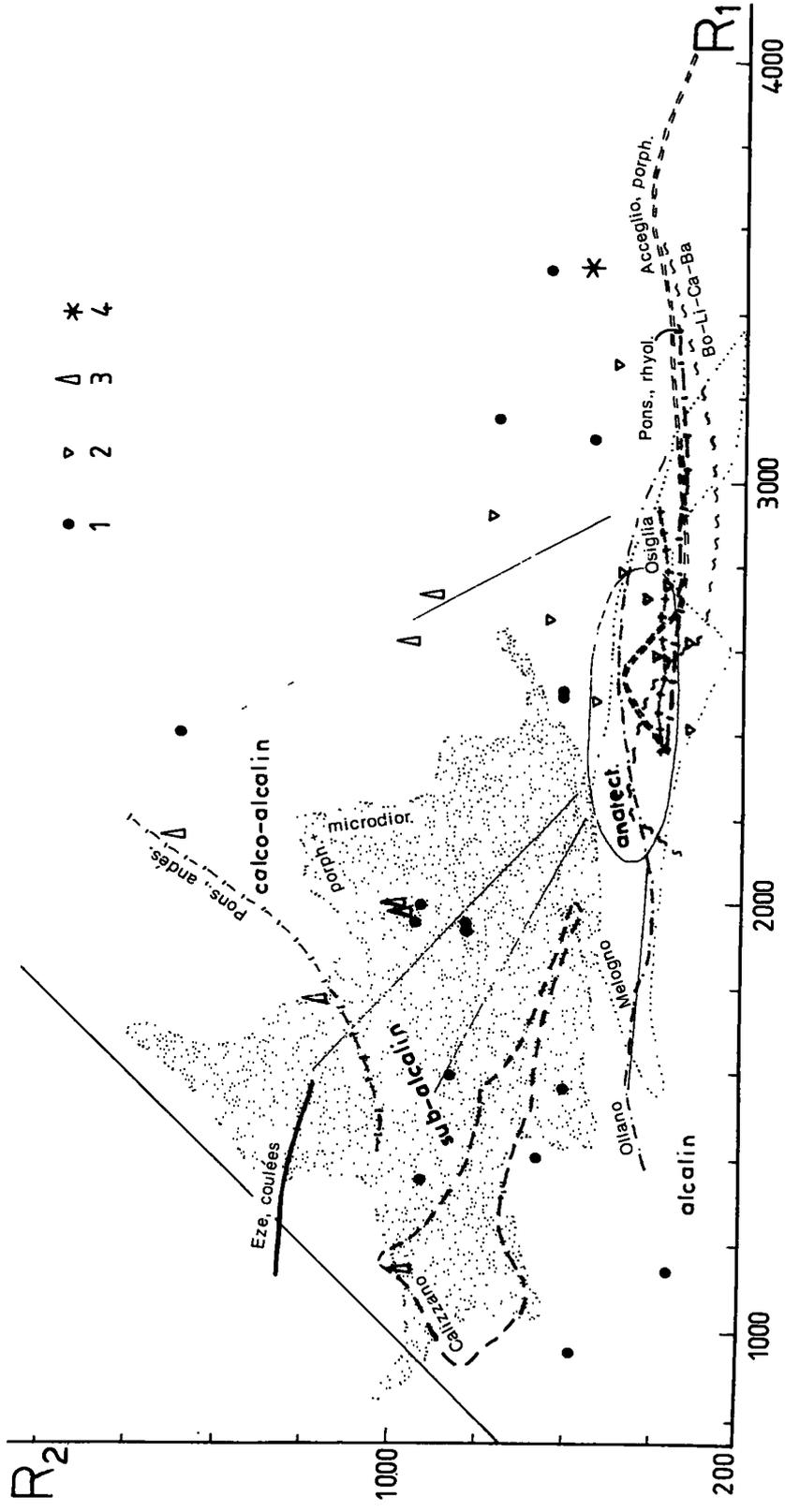


Fig. 7. Diagramme R₁ - R₂, roches volcaniques permo-carbonifères de chimisme acide à intermédiaire. Symboles: 1, Eze, tufs, pyroclastites et roches transformées; 2, roches acides ("eutectique" et microgranite) des environs de Briançon; 3, roches volcaniques permienes du Guil, Maurin et Marinet; 4, Chaudannes. Abréviation: Bo-Li-Ca-Ba = Borgo, Listo, rio Castoretto et Barbassiria.

Dans ce massif de Dora-Maira les âges des formations et leurs relations géométriques sont encore insuffisamment connus. Certains auteurs (Pognante et Sandrone, 1989), soulignant la ressemblance de leur composition avec celle des gneiss de l'unité ancienne, envisagent la possibilité d'un âge ancien pour une grande partie des gneiss de Dronero/Luserna, jusqu'à présent considérés le plus souvent comme permo-carbonifères. Parmi ces gneiss, les "porphyres granophyriques de Dronero" de Vialon (1966) se révèlent calco-alkalins. Les porphyroïdes dits "arkosiques", qui ne sont pas des sédiments [diagramme $(Al_3-K) - (Al_3-Na)$ non montré], montrent par rapport aux premiers un enrichissement en quartz et une dérive par perte d'alkalins, que l'on peut attribuer à une mylonitisation et/ou à un métamorphisme.

2. Roches volcaniques et subvolcaniques du Carbonifère supérieur et du Permien

Du Carbonifère supérieur sont datées de nombreuses roches volcaniques de la zone houillère, dont la succession a été particulièrement bien étudiée en Ligurie. Le volcanisme commence au *Namurien et Westphalien* (inférieur) avec, en Ligurie (Cortesogno et al., 1982, 1983 et 1984), quelques rhyolites, ignimbrites et porphyres (Lisetto et Borgo, Osiglia, "volcanites basales" de Guillaume, 1969, ainsi que les rhyolites et les clastes acides de la Formation d'Ollano dans la partie externe de la zone). Leur composition chimique proche de la zone de convergence (fig. 7), sans valeurs intermédiaires dessinant une lignée, nous paraît sub-alkaline, peut-être calco-alkaline en ce qui concerne les rhyolites de Borgo. Rappelons que les auteurs des analyses utilisent ici le terme de calco-alkalin au lieu de sub-alkalin. La nature sub-alkaline est cependant confirmée par les teneurs élevées en Th. Du même âge sont peut-être les "granophyres" de Barbassiria et du Rio Castorello, non datés, qui ont une composition alcaline, plus ou moins transformée par muscovitisation et/ou chloritisation.

Au *Stéphanien* se sont mis en place de nombreux produits volcaniques dont le chimisme plagioclasiq ue est le plus souvent celui de latite quartzique à latite-andésite, avec des variations vers les dacites, plus rarement les rhyodacites ou rhyolites. Ce sont en Ligurie les volcanites, dites andésites, d'Eze, de Calizzano et de Viola (coulées, tufs et filons). Ce sont aussi les sills et dykes de microdiorites et les porphyres blancs ou verts (rhyolitiques, dacitiques ou andésitiques) qui affleurent, grosso modo, entre Maurienne et Guisane, accompagnés de rares dolérites et d'une masse dioritique.

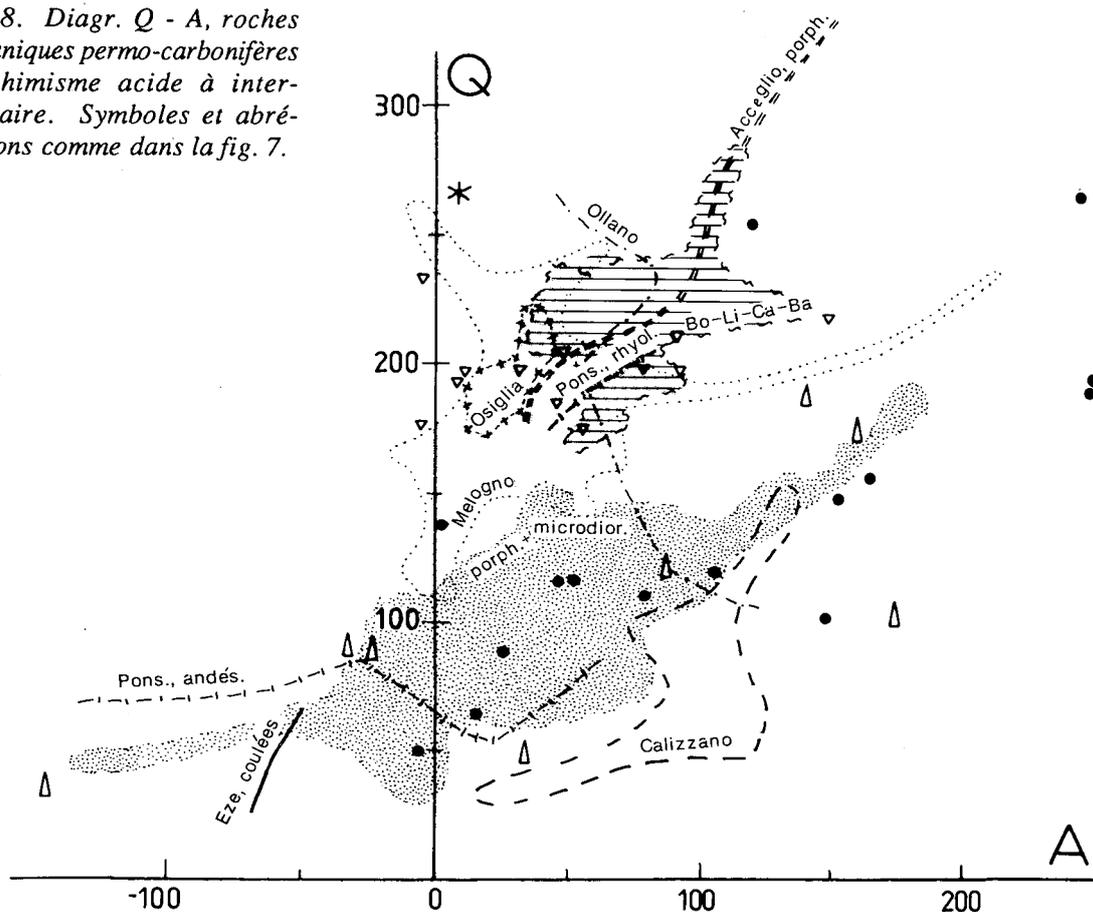
En Ligurie, si l'on considère seulement les coulées et les filons, on voit qu'il s'agit d'un volcanisme sub-alkalin riche en K en ce qui concerne Eze (calco-alkalin pour les auteurs des analyses) ; dans les filons de Calizzano et d'autres endroits la composition est plus sodique que potassique et peut-être un peu plus alcaline. On peut souligner la richesse en Ti des filons de Calizzano (cf. fig. 12), caractère qui s'accorde bien avec la nature sub-alkaline relativement alcaline de ces filons. Dans les coulées d'Eze la dévitrification s'est accompagnée de chloritisation et de séricitisation (fig. 8). Les termes pyroclastiques d'Eze montrent une grande variation de composition et différentes dérives se décèlent. A une chloritisation se surimpose une albitisation (fig. 8) ; en d'autres termes, à la destruction des minéraux porteurs d'alkalins et de Ca (plagioclases) se surimpose un apport de Na. Ces processus apparaissent moins nettement dans les échantillons de Calizzano.

Par contre les microdiorites, porphyres et roches associées de la zone houillère française ont un caractère nettement albitique qui masque les tendances typologiques. Cependant les positions relatives des points représentatifs dans $R_1 - R_2$ n'excluent pas une nature originellement calco-alkaline (voir aussi fig. 12). La tendance albitique se marque par une convergence des nuages de points vers le pôle albite (fig. 7 et 13). Une autre dérive se note aussi, celle-ci par perte d'alkalins, vers le pôle chlorite (fig. 13). La composition minéralogique reflète ces dérives dont nous pouvons souligner l'importance dans les faciès métamorphiques de schiste vert. Notons (diagr. Q - , non montré) qu'il existe aussi dans la zone houillère française des termes granitiques et des termes kérophyriques ou trondhémiques (les "eutectiques" de Piantone, 1980). Si le caractère calco-alkalin de la zone houillère française se confirme, soulignons la différence qu'elle montre avec le volcanisme permo-carbonifère de Ligurie dont nous venons de conclure à la nature sub-alkaline.

Quelques roches permo-carbonifères de composition plus basique seront mentionnées dans le chapitre consacré aux metabasites.

Enfin, dans les "roches blanches" de la zone houillère un enrichissement en Na ne permet pas de remonter aux caractères originels.

Fig. 8. Diagr. Q - A, roches volcaniques permo-carbonifères de chimisme acide à intermédiaire. Symboles et abréviations comme dans la fig. 7.



Les roches volcaniques attribuées au Permien apparaissent (fig. 7), sauf quelques exceptions, sub-alkalines en ce qui concerne les premiers épanchements, peut-être alcalines en ce qui concerne les épanchements sommitaux (dites respectivement "calco-alkalines" et "sub-alkalines", au sens de non alcalines par les auteurs des analyses). Des variations du rapport K/Na s'observent suivant les niveaux ou lithozones (Cabella et al., 1988), les termes les plus récents étant potassiques, d'affinité shoshonitique. Notre compilation des roches volcaniques acides à intermédiaires permiennes comprend :

- les porphyroïdes à jadéite ou micacés de la zone d'Acceglio (considérés comme néopermiens, mais que les observations stratigraphiques placent seulement entre le socle et le "Verrucano" permo-triasique (fig. 4 de Lefèvre et Michard, 1976) et qui pourraient donc théoriquement aussi appartenir au volcanisme précoce du Namurien-Stéphanien. Leur composition est moins marquée par la typologie magmatique que par des modifications métamorphiques (fig. 7 et 8). Certains échantillons sont affectés d'un enrichissement en K (dérive phengitique), alors que d'autres montrent aussi une perte de Na et Ca, c'est-à-dire une destruction du plagioclase. Un micaschiste des gypses situés entre Vanoise S et Ambin (Chaudannes), à jadéite relique ou pseudomorphosée, lui aussi affecté d'un enrichissement en silice, est peut-être à assimiler avec ces porphyroïdes (diagramme Q - F) ;

- en Ligurie, les rhyolites, ignimbrites et porphyroïdes de Melogno, dont la composition chimique originelle a été modifiée de manière différente de celle des roches d'Acceglio : le phénomène d'albitisation prédomine ici sur les autres modifications. Les ignimbrites se montrent très micacées : elles révèlent une hydratation tardive post-magmatique, accompagnée d'un enrichissement en K et d'une perte de Na, peut-être aussi de Ca ;

- les dacites et quelques andésites du Guil et des gisements plus méridionaux (Marinet, Maurin). Leur composition originelle a pu être calco-alkaline ou sub-alkaline, mais les modifications qu'elles ont subies, assez voisines de celles qui ont affecté les microdiorites de la Zone houillère française, masquent la nature originelle ;

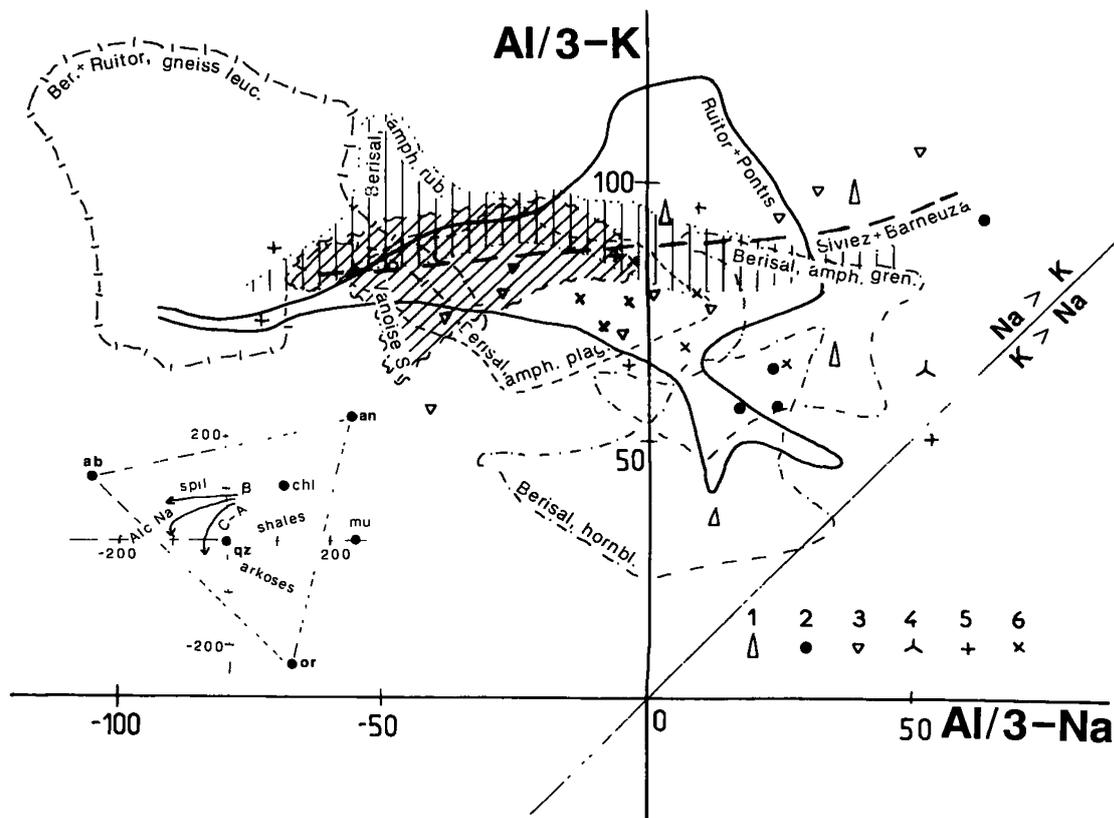


Fig. 9. Diagramme $(Al_3-Na) - (Al_3-K)$, roches basiques du socle ancien. Symboles : a, Berisal, amphibolites à grenat ; b, Berisal, hornblendites ; 1, Monte Leone ; 2, Stalden sup. ; 3, Clarea ; 4, Sapey ; 5, Arenzano ; 6, Calizzano-Savona. Abréviations (encart) : ab, albite ; chl, chlorite ; mu, muscovite ; or, orthose ; qz, quartz ; spil., lignée spilitique ; Alc.Na, lignée alcaline sodique ; C-A, lignée calco-alcaline.

- les andésites et dacites-andésites (à la base) et rhyolites (au sommet) de la Ponsonnière, dans la zone houillère française au Sud de l'Arc. Les zircons de rhyolites analogues entre Arc et Tarentaise, décrits comme calco-alcalins par Fabre et al. (1967) ne sont en fait caractéristiques ni d'une nature calco-alcaline ni d'une nature sub-alcaline, car ils appartiennent à la zone de convergence. Quoiqu'étant plus sodiques que des basaltes, les andésites ne sont cependant pas spilitiques. Les rhyolites sont en partie potassiques et à cause de la forte variation des alcalins elles ont une allure kératophyrique mimant une nature alcaline. L'association de rhyolites avec des andésites pourrait aussi évoquer un volcanisme bimodal. On peut noter la similitude chimique de ces rhyolites avec les porphyroïdes à jadéite d'Acceglio.

ROCHES MAGMATIQUES BASIQUES

A. Socle ancien

Des roches du complexe de Berisal, contenant plus de 90 % de hornblende et appelées hornblendites, ont (diagramme $R_1 - R_2$ non présenté) une composition picritique ou basaltique à olivine et des caractères de cumulat à forstérite. La nature des amphibolites du Monte Leone (tunnel du Simplon) est alcaline. La teneur du plagioclase primaire en anorthite a dû être de 70 à \approx 62 %. Dans le Ruitor le groupe des amphibolites dites stratoïdes et dans le complexe de Berisal celui des amphibolites à grenat (diagramme $R_1 - R_2$ non montré) comportent des compositions de basalte à olivine. Si l'on tient compte des critères de Pearce (in Maggetti et Galetti, 1988), les fortes teneurs en TiO_2 et les teneurs souvent faibles en Al_2O_3 écartent ces roches du champ

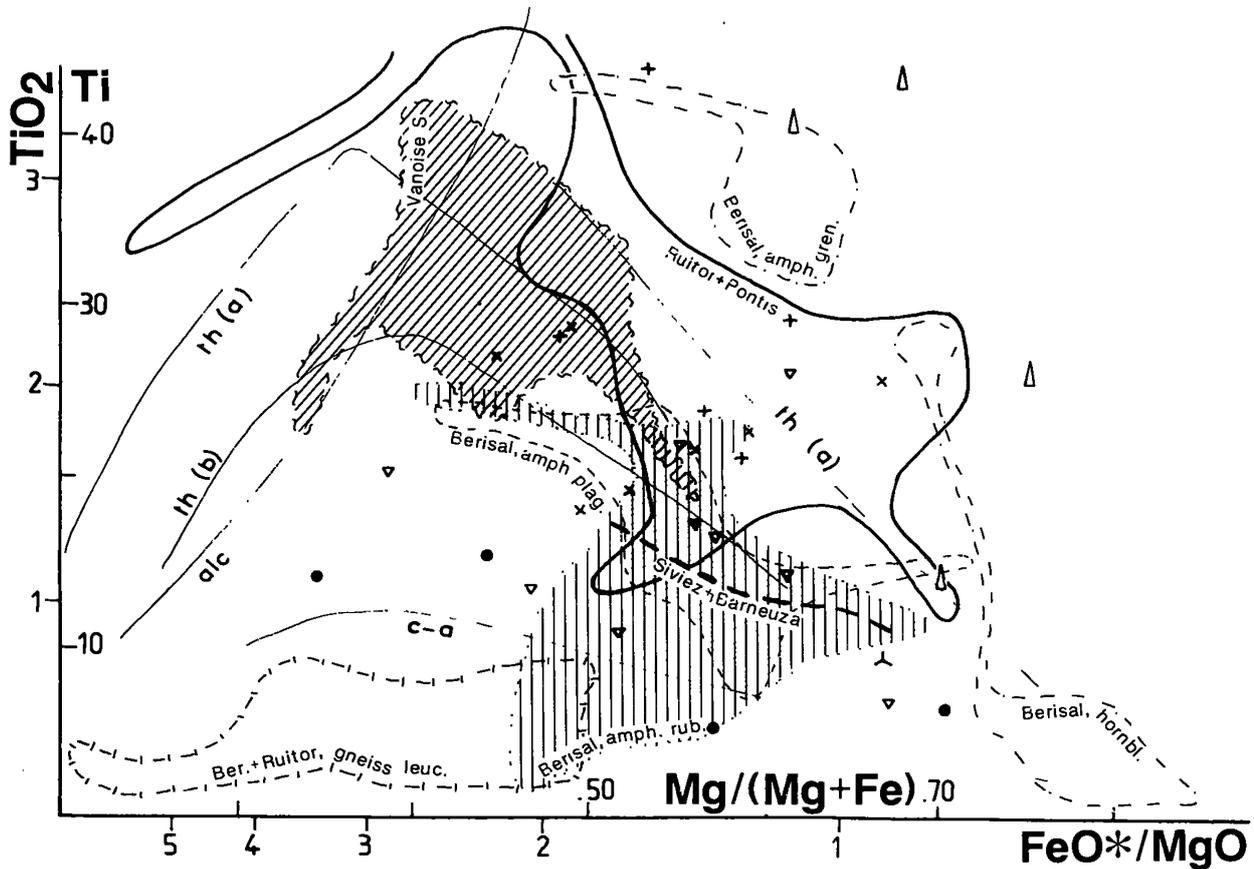


Fig. 10. Diagramme Ti - Mg:(Mg+Fe), roches basiques du socle ancien. Abréviations des lignées (d'après Ploquin in Guillot et al., 1986) : alc, alcaline (Tristan) ; c-a, calco-alcaline (Vourinos) ; th(a), tholéitique riche en Ti (Islande-Thingmuli et, pour les valeurs élevées de Mg, Corse-Inzecca) ; th(b), tholéitique (Grèce-Guevgueli W). Les valeurs des MORB actuels se reportent sur la lignée tholéitique à teneurs moyennes en Ti (cf. Pearce in fig. 13 de Maggetti et Galetti, 1988). Symboles comme dans la fig. 9.

des liquides basaltiques et les font considérer plutôt comme issues d'une différenciation. Parmi les amphibolites à plagioclase et les amphibolites rubanées de Berisal plusieurs échantillons montrent une tendance alcaline (trachy-basaltes) avec des termes sursaturés.

Dans le complexe de Berisal, les plagioclases les plus sodiques sont ceux des amphibolites à plagioclase (An₂₇ optiquement, An₂₃ d'après R₁ - R₂, non montré), qui sont ainsi des basaltes andésitiques ou andésites. Les amphibolites à plagioclase sont plus pauvres en Al que les amphibolites rubanées (diagramme A - B, non montré), qui montrent une modification par destruction du plagioclase (perte d'alcalins seuls ou accompagnés de Ca) ; les roches des deux types sont plutôt sous-saturées (sans que cela soit lié à une spilitisation). Les amphibolites à grenat sont plus riches en Ti et en Mg, les amphibolites à plagioclase plus riches en Ca et K et les amphibolites rubanées en moyenne plus riches en Na que celles à plagioclase (fig. 9 et 10).

Certaines roches basiques du socle ancien ont un caractère spilitique (fig. 9) qui est le plus accusé dans des échantillons de Vanoise S et de Siviez (y compris Barneuzà), ainsi que dans certains échantillons du Groupe de la Clarea (unité ancienne du massif d'Ambin), du Ruitor et de Ligurie. Le caractère spilitique est très peu marqué dans les roches picritiques ou basaltiques à olivine ci-dessus, les amphibolites rubanées de Berisal ainsi que, entre autres, dans les amphibolites de Stalden. La spilitisation ne va pas de pair avec une tendance alcaline ; il ne s'agit pas de trachy-basaltes.

Le caractère sursaturé d'une bonne partie des échantillons (notamment de Vanoise S, de Siviez et de Ligurie) pourrait correspondre à une dérive métamorphique ou mieux à une influence sédimentaire : une dérive alumineuse est nette pour beaucoup d'échantillons, qui pourraient être d'anciennes pyroclastites, d'anciens tufs ou des termes volcano-détritiques (fig. 9).

Les roches basiques du Ruitor, de Siviez, de Ligurie, si l'on fait abstraction de leur dérive alumineuse, ainsi qu'une partie au moins de celles du complexe de Berisal sont chimiquement proches. Du point de vue de leurs teneurs en Ti deux groupes se distinguent (fig. 10). Les roches les plus riches en titane se trouvent parmi les échantillons de Vanoise S et d'Arenzano ainsi que parmi les amphibolites à grenat du complexe de Berisal. Plusieurs de ces roches sont pauvres en alumine. Dans l'ensemble les teneurs en Ti sont voisines pour Berisal, Vanoise S, Siviez, Ruitor, Ligurie et s'écartent, en les dépassant, des valeurs caractéristiques des séries calco-alcalines. L'étalement des valeurs du rapport $Mg/(Mg+Fe)$, si on les compare à celles de séries non métamorphiques (A.P., Banc de Données), les montre perturbées. Toutefois l'allure générale est ici tholéitique, peut-être alcaline (ou spilitique ?) pour quelques échantillons de Siviez-Barneuza et du Ruitor. Seuls quelques échantillons d'amphibolites rubanées de Berisal sont très pauvres en titane : ils rejoignent ainsi les gneiss leucocrates avec lesquels ils alternent (cf. fig. 2).

Les teneurs en éléments en traces ne sont disponibles que pour certains échantillons. Dans le diagramme Zr - Ti - Y la plupart des metabasites de Vanoise S, Ruitor, Siviez et, dans le complexe de Berisal, les amphibolites à grenat et celles à plagioclase se concentrent dans le champ du MORB, avec toutefois une extension du champ par enrichissement relatif en Y (fig. 11a). D'après ce même diagramme les échantillons que l'on a vus très riches en titane auraient une origine intraplaque, en raison précisément de cette teneur élevée en Ti. Il faut noter que si seules sont reportées les analyses satisfaisant au critère de liquide basaltique ($13 < Al_2O_3 < 18$ et $0,8 < TiO_2 < 2,1$: Pearce in Maggetti et Galetti, 1988) la dispersion est réduite (fig. 11b). En particulier presque toutes les amphibolites à grenat de Berisal et quelques amphibolites du Ruitor et de la zone supérieure de Stalden ne représentent vraisemblablement pas d'anciens verres basaltiques. On peut aussi se demander si certaines amphibolites rubanées et à plagioclase de Berisal, pauvres en TiO_2 et en Al_2O_3 et proportionnellement riches en Zr ne constituent pas en fait des mélanges.

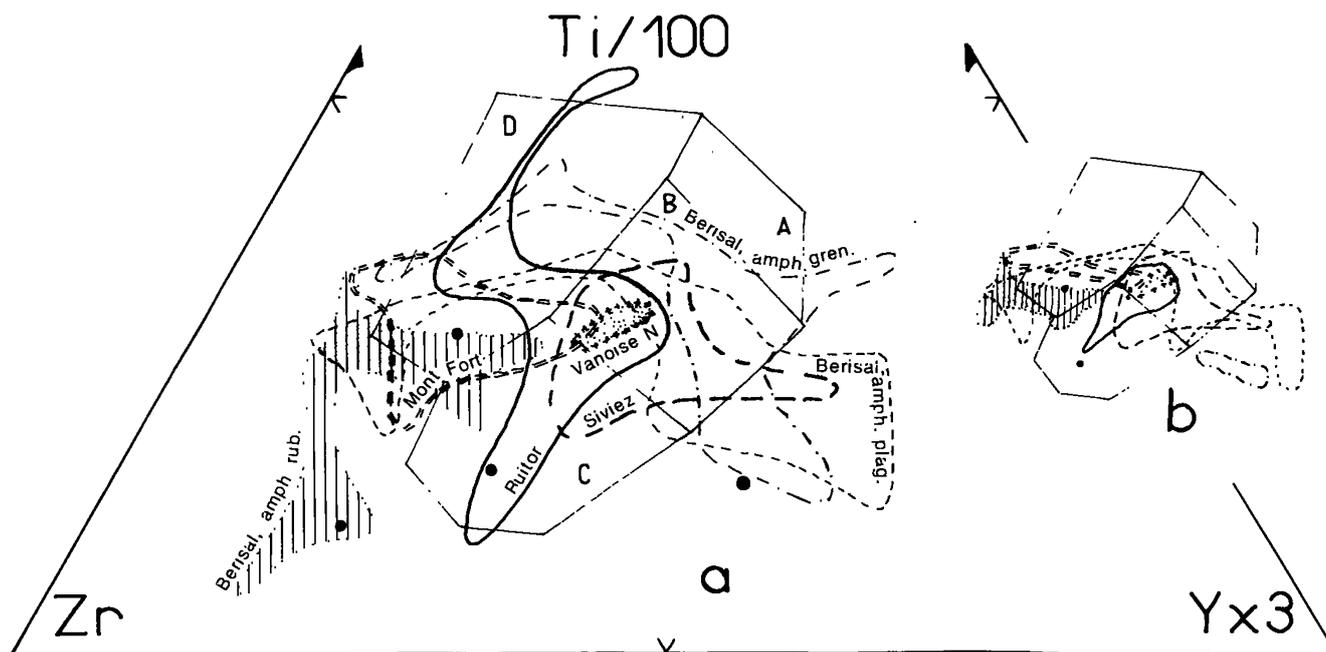


Fig. 11. Diagramme Zr - Ti:100 - Yx3, roches basiques du socle ancien et du socle récent. Symbole : les points représentent les échantillons de la zone supérieure de Stalden. Champs d'après Pearce et Cann (1973) : les tholéites pauvres en K se reportent dans les champs B et C ; les basaltes des planchers océaniques dans les champs B ; les basaltes calco-alcalins se reportent dans les champs C et D ; les basaltes "intra-plaque" dans le champ D.

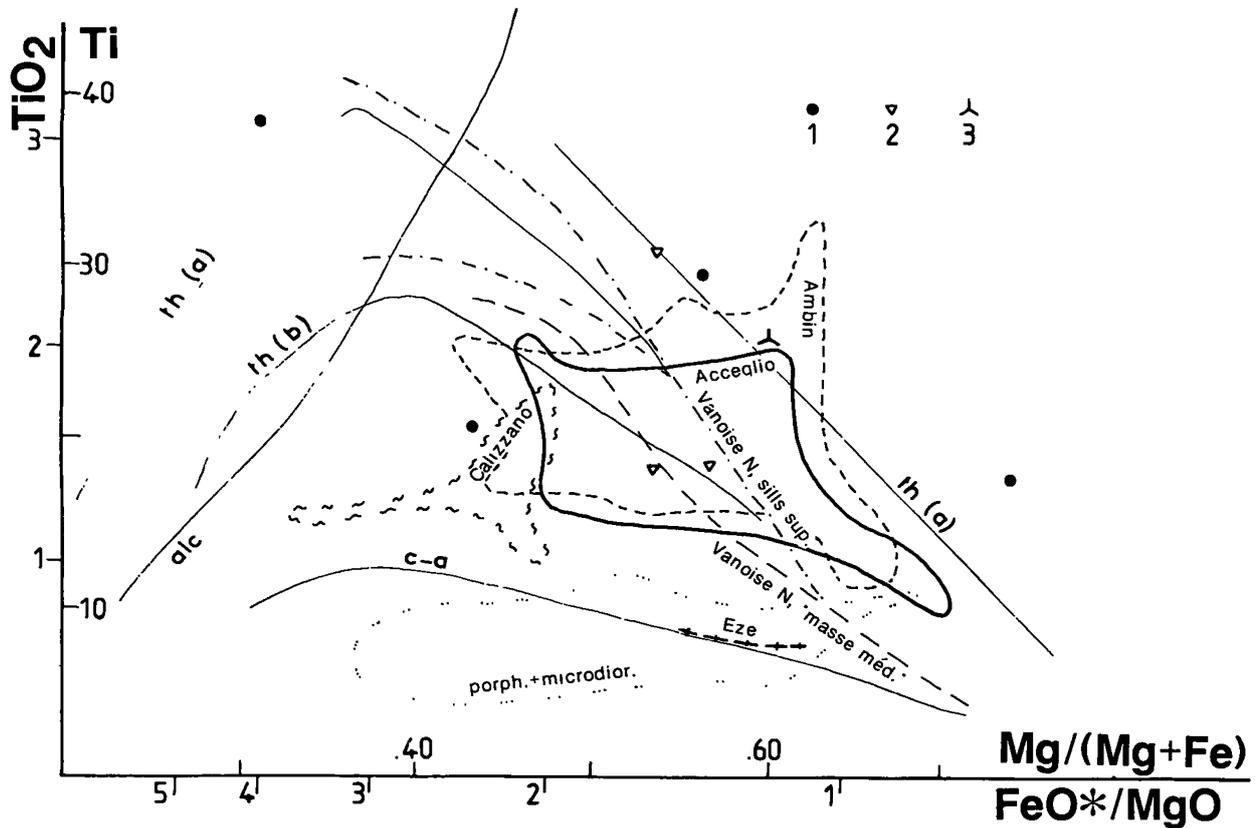


Fig. 12. Diagramme Ti - Mg:(Mg+Fe), roches basiques du socle récent et du Permo-Carbonifère. Symboles : 1, Mont Fort (Métailler) ; 2, prasinites de la Zone houillère ; 3, roche basique de Villeneuve-la-Salle. Abréviations des lignées comme dans la fig. 10.

Ce diagramme Zr - Ti - Y, tout comme le diagramme Ti:Cr - Ni (non montré), met bien en évidence le caractère hétérogène du magmatisme basique des complexes de Berisal, du Ruitor, de Siviez et de la Clarea, mais l'état actuel des connaissances ne permet pas d'en déterminer les relations magmatiques et chronologiques. Il faut remarquer la richesse en Zr des amphibolites rubanées de Berisal (fig. 11 et diagr. Zr:Y - Zr, non montré). Stille (1980) a montré que, parmi les éléments en traces, seuls le Rb et le Sr, mais non les Cr, Ni, Zr et Ti, avaient subi une diffusion sur des distances dépassant les 3 cm à partir de l'interface entre les lits clairs et les lits sombres des amphibolites rubanées. Le problème donc demeure de l'origine de cette richesse en Zr, que l'on remarque aussi dans les échantillons du Ruitor et certains de Siviez.

Les quelques échantillons métabasiques de la zone supérieure de Stalden montrent des compositions très variables, différentes de celle du MORB, à teneur en $\text{TiO}_2 \geq 1\%$, non spilitique mais affectées d'une dérive, sédimentaire ou métamorphique.

Les échantillons de roche à glaucophane, dans leur ensemble, ne se distinguent pas par leur chimisme des autres métabasites.

B. Socle récent

En Vanoise N, les roches basiques appartiennent à deux ensembles principaux (nous reprenons ici les observations et conclusions de Guillot, 1987) : (a) un ensemble de métabasites litées (la "masse magmatique médiane"), à chimisme de basalte spilitique (tholéïte pauvre en Ti), associées à des gabbros en laccolites (silice $\leq 50\%$ en général, qui sont des cumulats riches en Mg), ainsi qu'aux termes acides mentionnés plus haut ; (b) deux sous-ensembles de métabasites en sills dans des roches métasédimentaires (tholéïtes assez riches en Ti). Une partie de ces dernières métabasites montrent une tendance spilitique (fig. 12 et 13 et diagramme Ti:Cr - Ni, non montré).

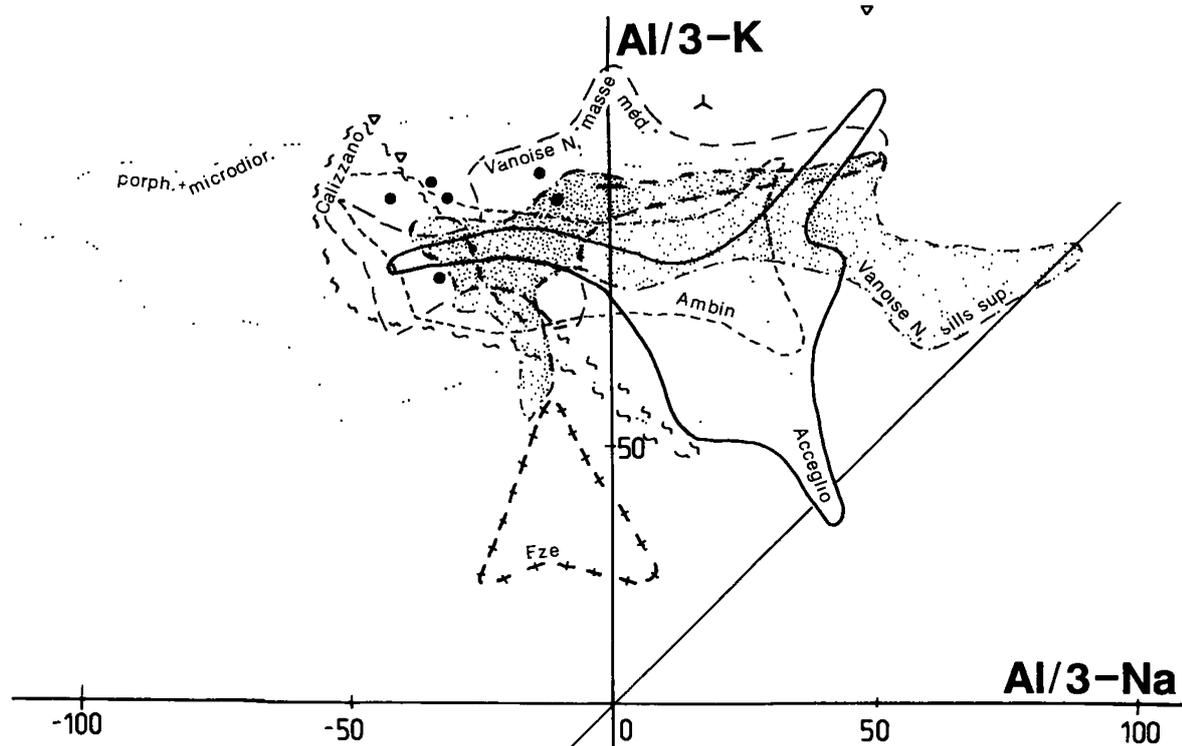


Fig. 13. Diagramme $(Al_3-Na) - (Al_3-K)$, roches basiques du socle récent et du Permo-Carbonifère. Symboles comme dans la fig. 12.

Les métabasites du Groupe d'Ambin ont une composition chimique de basalte ou d'andésite. Dans la zone d'Acceglio des prasinites rubarées (alternant avec les gneiss à lawsonite évoqués dans le chapitre des roches acides), dont le gisement est situé juste au-dessus du socle polymétamorphique et sous un Permien certain, ont une composition chimique basaltique montrant une dérive par destruction du plagioclase et muscovitisation-chloritisation, pouvant indiquer une origine pyroclastique ou volcano-détritique. Dans ces métabasites d'Ambin et d'Acceglio il y a peut-être, à côté d'une lignée tholéitique à teneur moyenne en Ti, une autre lignée, calco-alcaline, mais cette hypothèse devrait être testée par un échantillonnage spécialement effectué. Rappelons qu'en raison de leur chimisme basique (comme nous l'avons vu supra, sauf très rares exceptions les produits magmatiques du Carbonifère supérieur et du Permien ont une composition acide à intermédiaire), de leur position stratigraphique et de leur similitude avec les métabasites de Vanoise N, il a été envisagé (Desmons, in Debelmas et al., sous presse ; Desmons et Fabre, 1988) que ces séries soient non pas stéphano-permiennes (âge attribué par Lefèvre et Michard, 1976, pour Acceglio et par Gay, 1970, en Ambin), mais qu'elles constituent d'autres exemples de séries de socle récent.

Les quelques échantillons de la zone du Mont Fort, précédemment appelée zone du Métailler (elle aussi provisoirement rattachée à la catégorie du socle récent) montrent des compositions très variables, un peu spilitisées, s'inscrivant sur une lignée tholéitique riche en Ti à affinité avec le MORB (diagramme Ti:Cr - Ni, non montré) ; certains échantillons montrent ce qui peut être une dérive métamorphique ou bien une influence pyroclastique ou volcano-détritique. Nous retrouvons ici le lien entre la richesse en Ti et une origine effusive et peut-être pyroclastique.

C. Permo-Carbonifère

Dans le Permo-Carbonifère des roches assez rares ont une composition basique à intermédiaire et un gisement filonien ou une origine volcano-détritique à, peut-être, pyroclastique. Ce sont les filons "prasinitiques" de la partie E de la zone houillère savoyarde, en Tarentaise, qui sont considérés comme d'intrusion permienne (Fabre et al., 1987) et les roches basiques de Villeneuve-la-Salle dans la vallée de la Guisane (fig. 12 et 13), ainsi que quelques roches souvent de gisement filonien dans le socle de la zone de Pontis au col du Grand Saint-Bernard, du Ruitot et à Moosalp (dans les Mischabel), qui ont été attribuées au Permo-Carbonifère supérieur sans plus de

précision. La nature est celle de basalte tholéitique ± riche en Ti si l'on se fonde sur les teneurs en Ti, Fe et Mg, non spilitisée ; les prasinites, qui possèdent une composante détritique, ont été profondément transformées par albitisation et chloritisation. Rappelons que des "spilites tholéitiques" ont été mentionnées dans le Stéphanien moyen du versant occidental de Vanoise S par Détraz (1984) qui n'en fournit pas d'analyse.

COMPARAISON DES ROCHES BASIQUES DES SOCLES ET DES VOLCANITES PERMO-CARBONIFERES

Le diagramme AFM (fig. 14), avec les autres diagrammes tels que Ti - Mg:(Mg+Fe) (fig. 10 et 12) résume certaines des différences entre les roches magmatiques basiques et les volcanites des trois catégories d'âge :

- les volcanites permo-carbonifères se distinguent par leur chimisme acide à intermédiaire et leur caractère calco-alcalin ;

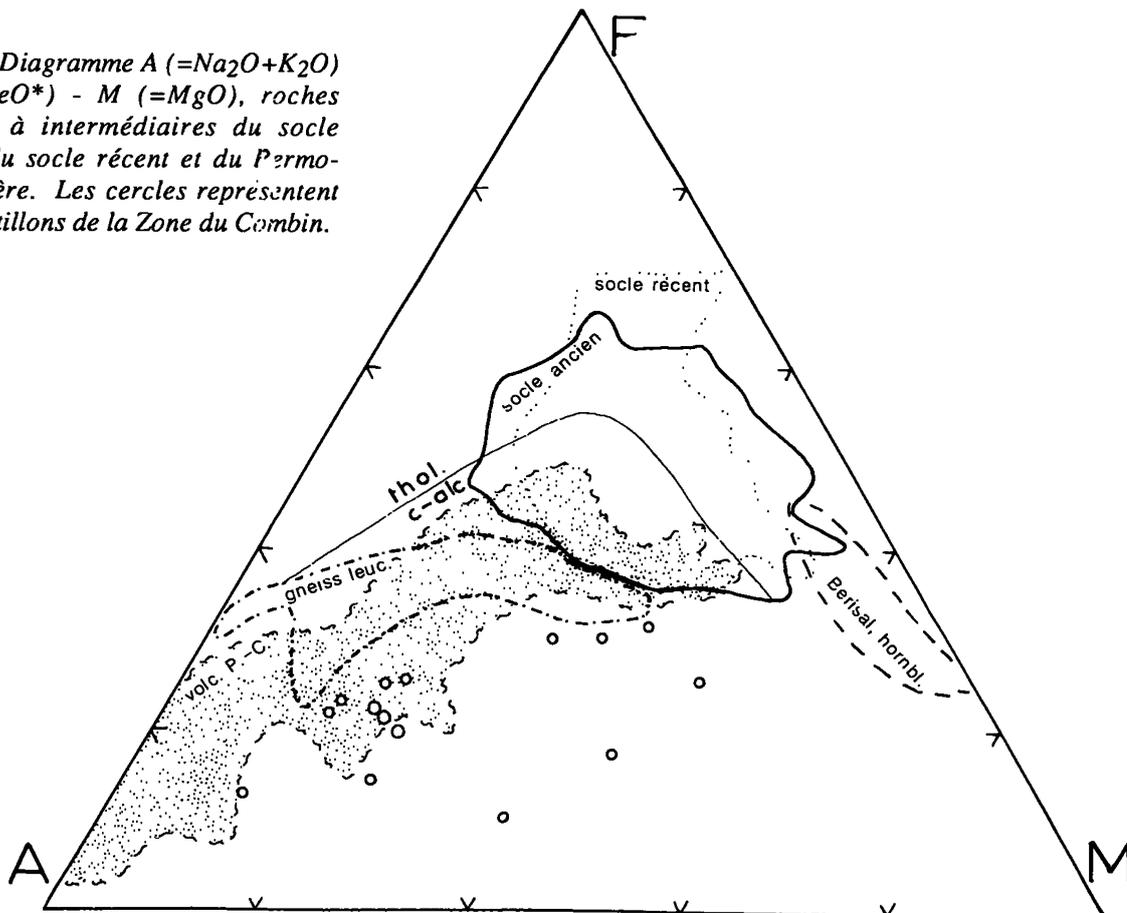
- dans le socle ancien il existe quelques ultrabasites : ce sont les anciens cumulats (pyroxéniques ?) que le métamorphisme a transformés en hornblendites ;

- les prasinites d'Acceglio et les metabasites du Groupe d'Ambin sont chimiquement étrangères à l'ensemble des magmas permo-carbonifères .

- dans les roches magmatiques du socle ancien ainsi que celles du socle récent, il y a un hiatus entre les roches basiques et les roches acides ; seules quelques amphibolites rubanées rejoignent certains des gneiss leucocrates avec lesquels elles alternent ; par contre les compositions intermédiaires sont représentées dans les volcanites permo-carbonifères ;

- les roches basiques du socle ancien et celles du socle récent sont toutes tholéitiques et se distinguent difficilement par leurs teneurs en éléments majeurs. Les metabasites des sills interstratifiés de Vanoise N sont les plus riches en Ti, accompagnées de certaines roches basiques de Vanoise S, du Ruitor et de Ligurie, ainsi que des amphibolites à grenat de Berisal ; les plus pauvres en Ti se trouvent parmi les metabasites de la "masse médiane" de Vanoise N (socle récent) et les amphibolites rubanées de Berisal ;

Fig. 14 . Diagramme A (=Na₂O+K₂O)
- F (=FeO*) - M (=MgO), roches basiques à intermédiaires du socle ancien, du socle récent et du Permo-Carbonifère. Les cercles représentent les échantillons de la Zone du Combin.



- les clastes de la zone du Combin ont une composition chimique aberrante, très perturbée ;
- la lignée des gneiss leucocrates du complexe de Berisal n'est pas dans le prolongement de celle des amphibolites à grenat ou à plagioclase et dans le Ruitor elle se distingue même en partie de la lignée des amphibolites rubanées avec lesquelles ils alternent. Les caractères chimiques de ces gneiss leucocrates et amphibolites rubanées ne sont pas incompatibles avec une origine volcanique à volcano-détritique bimodale. Dans le Ruitor et dans le complexe de Berisal il semble possible que différents magmatismes basiques soient représentés (Etteradossi, 1983 ; Baudin, 1987 ; Desmons et Hunziker, 1989). Les éléments en traces confirment cette manière de voir (par exemple fig. 11).

ROCHES METASEDIMENTAIRES

L'échantillonnage des métasédiments briançonnais comprend :

- des roches du socle ancien : Vanoise S, Clarea, Ruitor et dans la nappe de Siviez-Mischabel l'ensemble de Barneuza, ainsi que quelques échantillons du complexe de Berisal, de l'unité supérieure de Stalden, du Sapey, du socle ancien d'Acceglio, de Serre-Chevalier et de Ligurie (Arenzano) ; les gneiss ocellés de Liddes-Lacerandes, à caractères considérés comme ambigus par Thélin (1983), ont été discutés dans le chapitre des granitoïdes ;

- des roches du socle récent : Vanoise N et Groupe d'Ambin ;

- et seulement quelques roches du Grand Saint-Bernard suisse attribuées au Permo-Carbonifère parce qu'apparemment monocycliques : certains échantillons du Bonigersee et les gneiss de Moosalp. Il faut peut-être y ajouter les paragneiss de Lisio en Ligurie, dont l'âge est intermédiaire entre celui des gneiss anciens et le Westphalien supérieur mais donc aucune analyse n'a été publiée. Les gneiss mylonitiques de Tion et beaucoup des gneiss ocellés mylonitiques du Bonigersee dans l'ensemble de Bielen (nous avons évoqué plus haut les porphyres quartzifères qu'ils incluent) sont de nature discutée : sédimentaire ou magmatique. Nous n'avons pas retenu dans notre échantillonnage les sédiments "houillers" au sujet desquels Fabre et al. (1987 avec références antérieures) fournissent des données chimiques.

A. Socle ancien

Parmi les métasédiments du socle ancien (fig. 15), les plus alumineux (micacés) se trouvent dans le Ruitor et dans l'ensemble de Barneuza⁴, où apparaissent deux groupes : un groupe formé de roches à quartz-albite-muscovite, qui sont des grauwackes plutôt que des shales albitisés et un groupe comprenant des shales-pélites, plus alumineuses, où le minéral phylliteux est moins riche en alcalins (chlorite provenant de montmorillonite ou kaolinite), avec ou sans albitisation-muscovitisation. Les auteurs des analyses de Barneuza n'ont pas mis la croissance d'albite en relation avec une métasomatose, mais l'ont considérée comme effectuée in situ en présence d'un apport d'eau. La majorité des échantillons des autres unités sont des grauwackes un peu plus sodiques que potassiques. Certains métasédiments pélitiques de Ligurie (Arenzano), très riches en K (et en mica) mais pauvres en Al, évoquent une origine en milieu confiné ; d'autres, très différents, sont très riches en albite. Certaines "leptynites" du Sapey sont métasédimentaires : ce sont en partie d'anciens shales, en partie d'anciennes arkoses. Rappelons que les gneiss ocellés de Liddes, discutés avec les roches magmatiques acides, paraissent avoir un caractère alumineux secondaire.

L'interprétation des autres unités restera très modeste. D'après l'échantillonnage disponible les grauwackes sodi-potassiques, mais plus plagioclasiques, sont prépondérantes par rapport aux pélites en Vanoise S et dans le Ruitor, tandis que dans la Clarea les roches sédimentaires sont sodiques et certaines seulement grauwacko-pélitiques. Quelques gneiss du Bonigersee sont des métasédiments, mais dans leur majorité plutôt d'origine magmatique (voir plus haut).

⁴ Les métasédiments de Barneuza sont discutés dans ce chapitre du socle ancien à cause de leur similitude chimique avec ceux de Siviez. Malgré la présence d'éclogites dans l'ensemble de Barneuza (Thélin et al., 1989), Escher (1988) envisage pour cet ensemble un âge carbonifère inférieur (il s'agirait alors de notre socle récent) et explique leur position à l'intérieur des socles Siviez Mischabel par des chevauchements du Carbonifère inférieur.

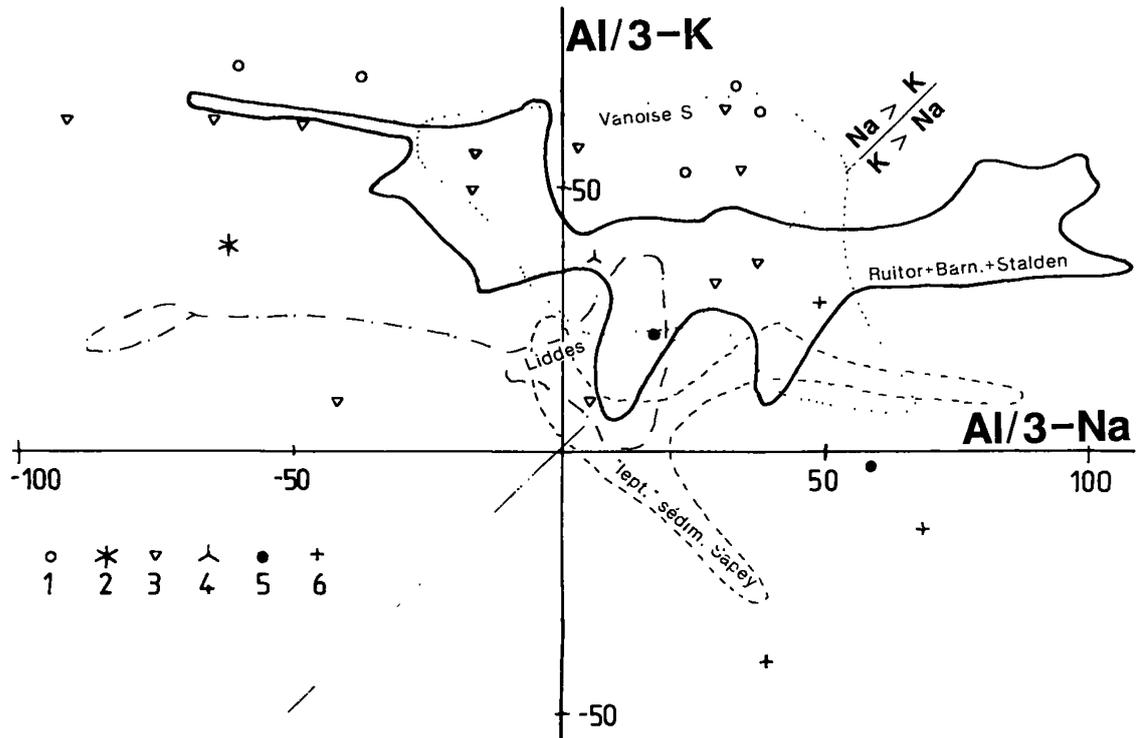


Fig. 15. Diagramme $(Al_3-Na) - (Al_3-K)$, roches sédimentaires du socle ancien. Les gneiss acides de Liddes peuvent être interprétés comme d'origine magmatique. Symboles : 1, Berisal ; 2, Vanoise N ; 3, Clarea ; 4, Serre-Chevalier ; 5, Aceglio ; 6, Arenzano.

Un gneiss de Serre-Chevalier ("4e écaille") se montre d'origine sédimentaire et semblable aux grauweekes de Vanoise méridionale.

B. Socle récent

Ce n'est qu'en Vanoise N qu'un échantillonnage abondant a permis une discussion des sources sédimentaires. Guillot (1987) y a vu des sédiments fins de chimisme pélitique, proches des shales océaniques actuels, fortement influencés par une source volcanique, c'est-à-dire des cinérites quartzo-albitiques [rapport albite/quartz à peu près constant et position dans le diagramme $(Al_3-Na) - (Al_3-K)$: fig. 16] ou bien des pélites silico-sodiques (si la source était plus éloignée comme le suggèrerait la finesse des sédiments). Les grauweekes représentées vers le sommet de la série, plus grossières, dénoteraient une source différente, contenant des roches-mères qui seraient, d'après la typologie des zircons, d'origine magmatique acide ou migmatitique, ainsi que des termes métamorphiques de degré moyen.

Le Groupe d'Ambin montre, à côté d'arkoses, une majorité de métasédiments plus évolués, atteignant le domaine des shales, mais certains échantillons révèlent un héritage magmatique encore net.

C. Permo-Carbonifère

Les gneiss mylonitiques pseudo-ocillés de Tion et les gneiss mylonitiques du Bonigersee sont, en ce qui concerne les rapports de leurs teneurs en alumine et en alcalins, semblables à des kératophyres quartziques. Cependant l'ensemble de leurs caractères structuraux, minéralogiques et chimiques ont mené Thélin (1983) à y voir des arénites très immatures, arénites et hyperfeldspathiques pour Tion, plutôt arkosiques pour Bonigersee. Ces roches ne montrent pourtant pas de caractère sédimentaire dans les diagrammes que nous avons utilisés ; dans le diagramme $(Al_3-Na) - (Al_3-K)$ (fig. 16) elles se reporteraient plus à droite. Les gneiss de Tion ont bien

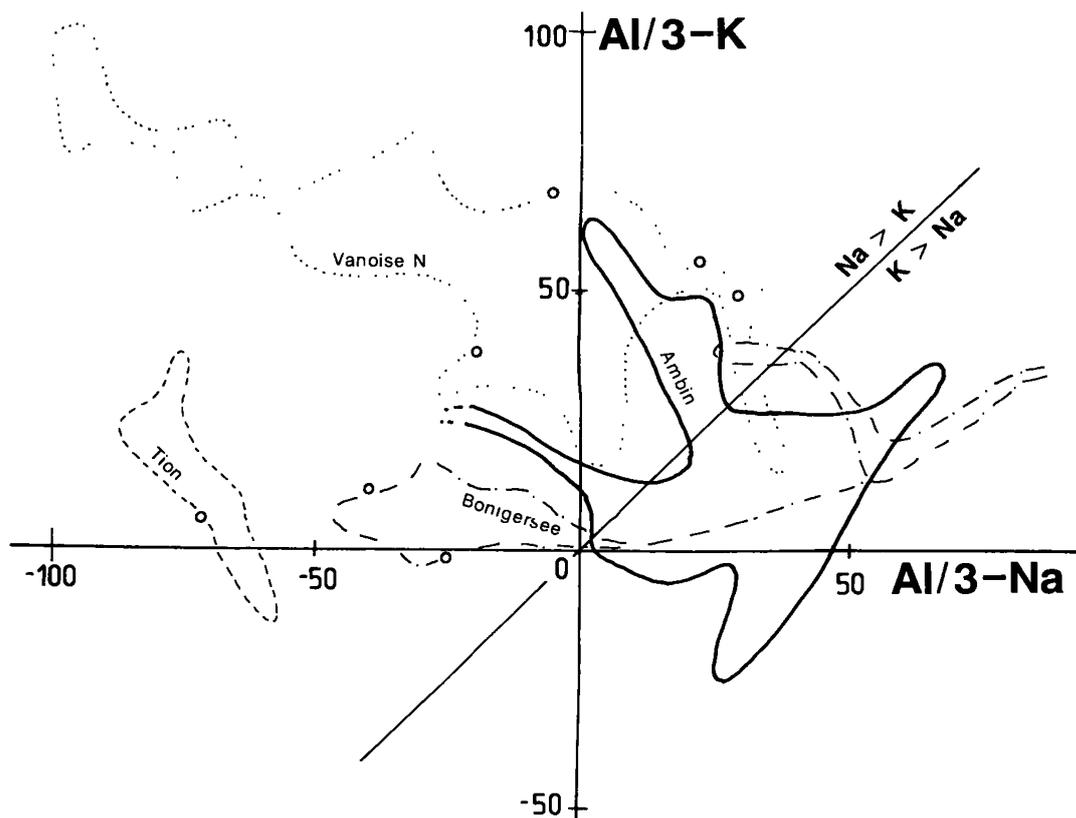


Fig. 16. Diagramme $(Al_3-Na) - (Al_3-K)$, roches sédimentaires du socle récent et du Permo-Carbonifère. Les gneiss de Tion et une grande partie de ceux du Bonigersee peuvent être interprétés comme d'origine magmatique. Les cercles représentent les échantillons de Moosalp.

les teneurs élevées en quartz de roches métasédimentaires acides, mais sont riches en albite (quoique celle-ci pourrait avoir une origine secondaire) ; il semble que seul un caractère exceptionnellement immature permettrait d'y voir des métasédiments.

CONCLUSIONS ET DEVELOPPEMENTS

Au moment de conclure nous tenons à rappeler le caractère hétérogène des échantillonnages utilisés, dont une partie seulement ont été effectués dans un but de caractérisation chimique des formations. En outre les attributions d'âge n'ont pas toutes une valeur certaine ; l'interprétation s'en est souvent trouvée difficile et sa portée limitée.

Du Grand Saint-Bernard suisse au Briançonnais ligure, les unités de *socle ancien*, que nous considérons provisoirement comme d'âge orlovicien ou plus ancien, comprennent des métasédiments le plus souvent grauwackeux, quelques ultramafites cumulatives et diverses metabasites où les amphibolites rubanées sont fréquentes. L'ensemble rubané formé par ces amphibolites et les gneiss plagioclasiques avec lesquels elles alternent représente peut-être des coulées et/ou des pyroclastites bimodales. Les metabasites sont de composition basaltique à basalto-andésitique, spilitiques dans certaines unités, le plus souvent tholéitiques, riches en Ti et proches du MORB, mais il existe une diversité certaine dont l'étude reste à approfondir. Les points figuratifs des granitoïdes se concentrent dans une zone de granite très évolué (c'est-à-dire leucocrate) et les termes de composition intermédiaire, syénitique et calco-alkaline sont très peu représentés. La tendance est le plus souvent sub-alkaline, probablement d'origine anatectique. Il y a plus rarement des granophyres qui, avec un gisement ligure d'orthogneiss, constituent les seuls termes alcalins de ce socle ancien.

Dans les unités qu'à titre d'hypothèse nous avons proposé de classer dans la catégorie du *socle récent* (ordovicien supérieur à siluriennes ?), se trouvent des métasédiments pélitiques ou grauwackeux où un héritage volcanique est net et diverses métabasites de nature tholéitique (en masses à termes grenus pauvres en Ti et en sills ou coulées riches en Ti). Les échantillonnages disponibles ne permettent guère de les différencier chimiquement des métabasites du socle ancien : ces dernières sont seulement en moyenne un peu plus basiques et moins évoluées. Les seules roches acides de cette catégorie du socle récent sont constituées par quelques granophyres, de nature alcaline, et par quelques albitites associées aux métabasites.

Les termes plutoniques du magmatisme acide à intermédiaire considéré comme d'âge *permo-carbonifère* sont représentés par des granites maintenant orthogneissifiés (Suisse) où nous avons décelé des caractères initiaux variés (alumineux, sub-alcalins, peut-être alcalins), et par des métatonalites-métadiorites calco-alcalines ("Zona interna", Dora-Maira). Les granites sont plus alumineux et moins quartzeux que les roches plutoniques acides du socle ancien.

D'abondantes volcanites sont stratigraphiquement datées du Permo-Carbonifère, associées aux sédiments continentaux des bassins subséquents houillers et situées stratigraphiquement sous les conglomérats du "Verrucano" néopermien. Au Namurien-Westphalien ce sont des rhyolites-ignimbrites, sub-alcalines et riches en K. Au Stéphanien ce sont, en Ligurie, des latites-andésites sub-alcalines riches en K et, dans la zone houillère française, les microdiorites et "porphyres" de composition dioritique à granitique, peut-être calco-alcaline, dont le caractère chimique prédominant est secondaire et albitique. Les roches basiques y sont très rares, de nature tholéitique pour certaines, calco-alcaline pour d'autres ou de composition très transformée. Au Permien on trouve d'abondantes rhyolites et ignimbrites qui sont sub-alcalines à la base, alcalines et potassiques au sommet, ainsi que localement des dacites-andésites dont les modifications cachent la nature originelle, calco-alcaline ou sub-alcaline, et un ensemble peut-être bimodal de rhyolites et d'andésites.

Pour l'ensemble du volcanisme permo-carbonifère de Ligurie, la succession et le mélange de deux sources magmatiques ont été envisagés (Cabella et al., 1988) : une source anatectique crustale donnant les roches décrites comme calco-alcalines (mais sub-alcalines suivant notre terminologie) et une fusion partielle de manteau suivie de fractionnements menant aux roches sub-alcalines potassiques. Ces auteurs ont proposé un phénomène diapirique dans le manteau, car le contexte du Paléozoïque supérieur était tardi ou post-orogénique, sans extension au Permien inférieur (Gelmini, 1985) ; cette activité persistante du manteau après la collision a aussi été envisagée par Lorenz et Nicholls (1984). Nous ne pouvons cependant pas écarter l'idée d'une croûte amincie par distension.

Les volcanites permo-carbonifères se caractérisent par de très importantes modifications chimiques, particulièrement dans les termes pyroclastiques. Les granitoïdes permo-carbonifères sont différents et beaucoup moins affectés de remaniements. On peut souligner que les rhyolites de Melogno (et les porphyroïdes d'Acceglio dans une moindre mesure) sont moins quartziques, plus caféiniques, plus titanifères et souvent moins albitiques que les orthogneiss de Randa (fig. 5 à 8, diagrammes $(Al_3-Na) - (Al_3-K)$ et $Ti - Mg:(Mg+Fe)$ non montrés).

La majorité des échantillons, qu'ils appartiennent au socle ancien, au socle récent ou au Permo-Carbonifère, montrent une destruction du feldspath, décelée par un départ d'alcalins, voire un apport de Na, peut-être un enrichissement en Y. Cette dérive semble due aux phénomènes alpins qui ont aussi plus ou moins rajeuni les âges apparents calculés, âges que les travaux géochronologiques ont souvent montrés sans signification géologique. On retrouve là le caractère profondément perturbateur du métamorphisme de faciès schiste vert qui, formant de l'albite et de la chlorite, détruit les premiers minéraux porteurs d'alcalins et de Ca (surtout plagioclase, biotite et amphibole) et ouvre le système de ces éléments qui sera d'autant plus modifié que circuleront des fluides.

Il n'entrait pas dans le cadre de ce travail d'effectuer une comparaison lithologique des différentes catégories des roches anciennes briançonnaises avec celles appartenant à Gondwana et à l'Eurasie de part et d'autre des domaines alpins internes. Nous nous contenterons de rappeler que plusieurs auteurs déjà (Cortesogno et al., 1982 ; Del Moro et al., 1982) ont remarqué que la composition des granitoïdes anté-alpins de Ligurie est identique à celle des granitoïdes ordoviciens de l'Austro-Alpin et des Alpes méridionales. Nous soulignerons aussi combien sont semblables aux socles briançonnais les séries lithologiques et l'évolution de l'Austro-Alpin

et du Sud-Alpin telles qu'elles ressortent de travaux récents (notamment Buletti, 1983 ; Frisch et al., 1984, 1987 ; Becker et al., 1987 ; Sassi et al., 1987). Les volcanismes permo-carbonifères ont eux aussi été comparés avec ceux du Sud-Alpin (Cortcosogno et al., 1984-86 ; Cassinis et al., 1984-86). Par ailleurs quelques auteurs ont proposé de voir dans le Briançonnais et dans l'ensemble du Pennique au Mésozoïque une dépendance gondwanienne : Radelli et Desmons (1987, 1988) se sont fondés sur les similitudes présentées par les couvertures et socles briançonnais et sud-alpins dans leur lithologie et leur évolution métamorphique anté-alpine (Desmons, 1986), ainsi que sur la dynamique en arcs de l'orogénèse crétacée ; Hunziker et Martinotti (1984-86 ; voir aussi Hunziker et al., 1989) ont pris pour argument la distribution des faciès métamorphiques alpins de haute pression.

D'autres recherches sont à effectuer dans cette perspective, suivant laquelle les massifs cristallins externes d'une part, penniques et Austro-alpins d'autre part, se distingueraient principalement par leur histoire varisque. Nous souhaitons qu'une compilation analogue des données analytiques concernant l'Austro-Alpin et les Alpes méridionales permette d'étudier la validité de ces hypothèses paléogéographiques.

Remerciements. Les calculs et diagrammes ont été faits par le service EDTA du C.R.P.G. grâce aux bons soins de Mme Marchal. Nous remercions R. Sandrone qui a mis à notre disposition des analyses alors encore inédites, ainsi que nos premiers lecteurs, Ph. Thélin et L. Cortcosogno, pour leurs remarques constructives.

REFERENCES

(Les numéros se rapportent au tableau II, colonne 6)

- 1 - ABOUCHAMI W. (1986). - Etude pétrographique et géochimique de quelques roches basiques provenant de la Zone briançonnaise interne (Alpes occidentales). - Mém. D.E.A., Univ. Nancy I, 38 p.
- 2 - ALLMANN M. & GOUFFON Y. (1984). - Les unités penniques entre Gd-St-Bernard et Mt Vélan (Val d'Aoste, Italie). Dipl. Univ. Lausanne, 98 p.
- 3 - ANTOINE P. (1972). - Le domaine pennique externe entre Bourg St Maurice (Savoie) et la frontière italo-suisse. Géol. Alpine, Grenoble, 48, pp. 4-40.
- BATCHELOR R.A. & BOWDEN P. (1985). - Petrogenetic interpretation of granitoid rock series using multicationic parameters. - Chem. Geol., Amsterdam, 48, pp. 43-55.
- 4 - BAUDIN T. (1987). - Etude géologique du massif du Rutor (Alpes franco-italiennes) : évolution structurale d'un socle briançonnais. - Thèse, Univ. Grenoble I, 259 p.
- BEARTH P. (1960-63). - Contribution à la subdivision tectonique et stratigraphique du cristallin de la nappe du Grand St-Bernard dans le Valais (Suisse). Mém. h. sér. Soc. géol. Fr., Paris, (2), pp. 407-418.
- BECCALUVA L., OHNENSTETTER D. & OHNENSTETTER M. (1979). - Geochemical discrimination between ocean floor and island arc tholeiites. Application to some ophiolites. - Canad. J. Earth Sc., Ottawa, 16, pp. 1874-1882.
- BECKER L.P., FRANK W., HÖCK V., KLEINSCHMIDT G., NEUBAUER F., SASSI F.P. & SCHRAMM J.M. (1987). - Outlines of the pre-Alpine metamorphic events in the Austrian Alps. In : H.W. Flügel, F.P. Sassi & P. Grecula, Ed. - Pre-Variscan and Variscan events in the Alpine-Mediterranean mountain belts. Mineralia slovacica Monography. - Alfa, Bratislava, pp. 69-107.
- BEHR H.J., ENGEL W., FRANKE W., GIESE P. & WEBER K. (1984). - The Variscan belt in central Europe : main structures, geodynamic implications, open questions. - Tectonophysics, Amsterdam, 109, pp. 15-40.
- 5 - BOCQUET [DESMONS] J. (1974a). - Etudes minéralogiques et pétrologiques sur les métamorphismes d'âge alpin dans les Alpes françaises. Thèse Sci., Univ. Grenoble I, 489 p.
- BOCQUET [DESMONS] J. (1974b). - Il metamorfismo prealpino nella Vanoise (Savoia) e in altri settori dello zoccolo brianzonese. - Mem. Soc. Geol. It., Roma, 13, pp. 271-284.
- BOCQUET [DESMONS] J., DELALOYE M., HUNZIKER J.C. & KRUMMENACHER D. (1974). - K Ar and Rb Sr dating of blue amphiboles, micas and associated minerals from the Western Alps. - Contrib. Mineral. Petrol., Heidelberg, 47, pp. 7-26.
- BULETTI M. (1983). - Zur Geologie und Entstehungsgeschichte der Granat-Amphibolite des Gambarogno-gebietes, Ticino, Südalpen. - Schweiz. mineral. petr. Mitt., Zürich, 63, pp. 233-247.
- BURRI M. (1983). - Description géologique du front du Saint-Bernard dans les vallées de Bagnes et d'Entremont (Valais). - Bull. Géol. Lausanne, n° 270, 88 p.

- CABELLA R., CORTESOGNO L., DALLAGIOVANNA G., VANNUCCI R. & VANOSSI M. (1988). - Vulcanismo, sedimentazione e tettonica nel Brianzonese ligure esterno durante il Permo-Carbonifero. - *Atti Tic. Sci. Terra, Pavia*, 31, pp. 269-326.
- CASSINIS G., GIANOTTI R. & VANOSSI M. (1986). - Confronti nella successione tardo-ercinica delle Alpi liguri e delle Alpi meridionali. - *Mem. Soc. Geol. It., Roma*, 28, pp. 331-352.
- 6 - CIGOLINI C. (1978). - Studi geologico-petrografici nella zona interna del Gran S. Bernardo fra la medio bassa Val di Rhêmes e Valgrisanche. - Tesi di Laurea, Univ. Torino.
- 7 - CIMMINO F., CORTESOGNO L. & LUCCHETTI G. (1976). - Orneblende nelle anfiboliti dei massicci cristallini liguri. - *Rendic. Soc. Ital. Mineral. Petrol., Milano*, 32, pp. 591-616.
- CORTESOGNO L. (1984-86). - Metamorfismo e magmatismo prealpini nel basamento e nel tegumento delle Alpi Liguri. - *Mem. Soc. Geol. It., Roma*, 28, pp. 79-94.
- 8 - CORTESOGNO L. & FORCELLA F. (1978). - Il massiccio cristallino di Arenzano, frammento di crosta continentale brianzonese al margine meridionale del Gruppo di Voltri. - *Rendic. Soc. Ital. Mineral. Petrol., Milano*, 34, pp. 307-350.
- 9 - CORTESOGNO L., GIANOTTI R., OXILIA M., VANOSSI M. & VANNUCCI R. (1982). - Genesi ed evoluzione dello zoccolo pre-mesozoico di alcuni settori del Brianzonese ligure interno. - *Rendic. Soc. Ital. Mineral. Petrol., Milano*, 38, pp. 219-260.
- 10 - CORTESOGNO L., ODDONE M., OXILIA M., VANOSSI M. & VANNUCCI R. (1983). - Le metavulcaniti a chimismo andesitico del Permo Carbonifero brianzonese (Alpi Marittime). - *Rendic. Soc. Ital. Mineral. Petrol., Milano*, 38, pp. 581-606.
- 11 - CORTESOGNO L., GIANOTTI R., VANOSSI M., ODDONE M. & VANNUCCI R. (1984). - Contributo alla conoscenza delle metavulcaniti tardo-erciniche del Brianzonese ligure (Alpi Marittime) : 1) I "Porfidi" di Osiglia ed i clasti di vulcaniti nella Formazione di Ollano. - *Rendic. Soc. Ital. Mineral. Petrol., Milano*, 39, pp. 575-792.
- CORTESOGNO L., GIANOTTI R., VANNUCCI R. & VANOSSI M. (1984). - Le volcanisme permo-carbonifère du Briançonnais ligure (Alpes maritimes) dans le cadre des phases tardives de l'orogénèse hercynienne. - *Sci. Géol. Bull., Strasbourg*, 37, pp. 37-50
- CORTESOGNO L., ODDONE M., OLIVERI F. & VANNUCCI R. (1986). - Considerazioni petrogenetiche sugli ortogneiss granitoidi di Nucetto e Barbassiria (Alpi Marittime). - *Rendic. Soc. Ital. Mineral. Petrol., Milano*, 41, pp. 75-81.
- 12 - DAL PIAZ Gb. (1928). - Geologia della catena Herbetet-Grivola-Grand Noménon. - *Mem. Ist. Geol. Univ. Padova*, 7, 83 p.
- 13 - DAMBRINE P. & LANGANEY C. (1979). - Etude géologique et géologique du massif de Vanoise méridionale (Savoie). - Thèse 3e cycle, Univ. Paris-Sud, 231 p.
- 14 - D'AMICO C. & MOTTANA A. (1974). - Hercynian plutonism in the Alps. A report 1973-74. - *Mem. Soc. Geol. It., Roma*, 13, suppl. 1, pp. 49-118.
- DEBON F. & LE FORT P. (1983). - A chemical-mineralogical classification of common plutonic rocks and associations. - *Trans. Royal Soc. Edinburg, Earth Sc.*, 73, pp. 135-149.
- 15 - DEL MORO A., PARDINI G., MESSIGA B. & POGGIO M. (1982). - Dati petrologici e radiometrici preliminari sui massicci cristallini della Liguria occidentale. - *Rendic. Soc. Ital. Mineral. Petrol., Milano*, 38, pp. 73-87.
- DESMONS J. (1986). - The Alpine metamorphisms and their environments in the Western Alps : unsolved problems. *Schweiz. mineral. petrogr. Mitt., Zürich*, 66, pp. 29-40.
- DESMONS J. & FABRE J. (1988). - Contribution à la connaissance pétrographique du Mont Pourri (Savoie, France) ; conséquences structurales. - *Géol. Alpine, Grenoble*, 64, pp. 13-26.
- DESMONS J. & HUNZIKER J.C. (1989). - Genesis of layered amphibolites : the case of the Penninic zones of the Western Alps. *Bol. Depto geol. Uni-Son, Hermosillo*, sous presse.
- DETRAZ G. (1984). - Etude géologique du bord interne de la zone houillère briançonnaise entre la vallée de l'Arc et le massif de Péclet-Polset (Alpes de Savoie). - Thèse 3e cycle, Univ. Grenoble, 163 p.
- DIDIER J. & LAMEYRE J. (1969). - Les granites du Massif Central français. Etude comparée des leucogranites et granodiorites. - *Contrib. Mineral. Petrol., Heidelberg*, 24, pp.219-238.
- E.C.O.G. (1969). - Colloquium on the geochronology of Phanerozoic orogenic belts, Switzerland, Field-Trip volume.
- 16 - ELLENBERGER F. (1958). - Etude géologique du pays de Vanoise. - *Mém. explic. Carte géol. Fr., Paris*, 561 p.
- ESCHER A. (1988). - Structure de la nappe du Grand Saint-Bernard entre le val de Bagnes et les Mischabel. - *Serv. hydrol. géol. nat, Rapp. géol.*, 7, Berne, 26 p.
- 17 - ETERRADOSSI O. (1983). - Les roches vertes orthodérivées du massif du Ruitor (Alpes franco italiennes) : pétrographie et géochimie. - *D.E.A, Univ. Grenoble I.*, 75 p.
- 18 - FABRE J. (1961). - Contribution à l'étude de la zone houillère en Maurienne et en Tarentaise (Alpes de Savoie). - *Mém. B.R.G.M., Paris*, 2, 315 p.

- FABREJ., SCHADE J., BAUDIN T., DESMONS J., MERCIER D. & PERRUCCIO-PARISON M.D. (1987). - Relics of pre-Mesozoic events in the Briançon zone (Northern French Alps). - In : H.W. Flügel, F.P. Sassi & P. Grecula Ed. Pre Variscan and Variscan events in the Alpine Mediterranean mountain belts. *Mineralia slovaca - Monography*. - Alfa, Bratislava, pp. 183-208.
- FRISCH W., NEUBAUER F. & SATIR M. (1984). - Concepts of the evolution of the Austroalpine basement complex (Eastern Alps) during the Caledonian-Variscan cycle. *Geol. Rdschau, Stuttgart*, 73, pp. 47-68.
- FRISCH W., NEUBAUER F., BRÖCKER M., BRÜCKMANN W. & HAISS N. (1987). - Interpretation of geochemical data from the Caledonian basement within the Austroalpine basement complex. - In : H.W. Flügel, F.P. Sassi & P. Grecula, Ed. - Pre-Variscan and Variscan events in the Alpine Mediterranean mountain belts. *Mineralia slovaca - Monography*. - Alfa, Bratislava, pp. 209-226.
- 19 - GAY M. (1972). - Le massif d'Ambin et son cadre de Schistes lustrés (Alpes franco-italiennes). Evolution paléogéographique anté-alpine. - *Bull. B.R.G.M., Paris*, 2e sér., 3, pp. 5-81.
- GELMINI R. (1985). - A palaeogeographical reconstruction of the Permo Triassic circum Tyrrhenian area. *Boll. Soc. Geol. Ital., Roma*, 104, pp. 561-574.
- 20 - GOFFE B. (1975). - Etude structurale et pétrographique du versant occidental du massif paléozoïque de Chasseforêt (Vanoise méridionale). - Thèse 3e cycle, Univ. Paris Sud, 50+18+113 p.
- 21 - GUILLAUME A. (1969). - Contribution à l'étude géologique des Alpes liguro-piémontaises. - *Docum. Lab. Géol. Fac. Sci. Lyon*, 30, pp. 1-270.
- 22 - GUILLOT F. (1987). - Géologie de l'Antépermien de Vanoise septentrionale (zone briançonnaise interne, Alpes occidentales, Savoie, France). - Thèse, Univ. Sc. Techn. Lille, 280 p.
- GUILLOT F., PLOQUIN A., RAOULT J.F. & PERRUCCIO-PARISON M.D. (1986). - Les séries antépermiennes de Vanoise septentrionale (zone briançonnaise, Alpes de Savoie) : lithologie et géochimie dans le massif de Bellocôte ; arguments pour un âge antéhouiller. *C.R. Acad. Sc. Paris (II)*, 303, pp. 1141-1146.
- 23 - GUITARD G. & SALIOT P. (1971). - Sur les paragenèses à lawsonite et à pumpellyite des Alpes de Savoie. - *Bull. Soc. fr. Minéral. Cristallogr., Paris*, 94, pp. 507-523.
- HUNZIKER J.C. & MARTINOTTI G. (1984-86). - Geochronology and evolution of the Western Alps : a review. - *Mem. Soc. Geol. Ital., Roma*, 29, pp. 43-56.
- HUNZIKER J.C., DESMONS J. & MARTINOTTI G. (1989). - Alpine thermal evolution in the central and western Alps. In : M.P. Coward, D. Dietrich et R.G. Park, Ed. *Alpine tectonics*. - *Geol. Soc. London Spec. Publ.* n°45, p. 353-367.
- de LA ROCHE, H. (1966). - Sur l'usage du concept d'association minérale dans l'étude chimique des roches : modèles chimiques statistiques, représentations graphiques, classification chimico-minéralogique. - *C.R. Acad. Sc. Paris*, 262, pp. 1665-1668.
- de LA ROCHE H. (1968). - Composition géochimique différentiel de Na, K et Al dans les formations volcaniques et sédimentaires : un guide pour l'étude des formations métamorphiques et plutoniques. - *C.R. Acad. Sc. Paris*, 267, pp. 39-42.
- de LA ROCHE H. & LETERRIER J. (1973). - Transposition du tétraèdre minéralogique de Yoder et Tilley dans un diagramme chimique de classification des roches basaltiques. - *C.R. Acad. Sc. Paris*, 276 (D), pp. 3115-3118.
- de LA ROCHE H., AUTRAN A., CHANTRAINE J. & MOINE B. (1974). - Etudes géochimiques associées à la cartographie géologique : essai de reconstitution des séries antémétamorphiques dans le domaine des feuilles à 1/50 000 Bourgneuf et Ambazac (Massif central français). *Bull. B.R.G.M. (2), Sec. IV n° 2*, pp. 109-1244.
- de LA ROCHE H., LETERRIER J., GRANDCLAUDE P. & MARCHAL M. (1980). - A classification of volcanic and plutonic rocks using R1 R2 diagram and major-element analyses. Its relationship with current nomenclature. *Chemical Geol., Amsterdam*, 29, pp. 183-210.
- de LA ROCHE H., STUSSI J.M. & CHAURIS L. (1980). - Les granites à deux micas hercyniens français. Essai de cartographie et de corrélations géochimiques appuyés sur une banque de données. Implications pétrologiques et métallogéniques. *Sci. Terre Nancy*, 29, 1, pp. 5-121 et Guide book excursion G.25, 26e Congr. géol. intern., Paris.
- LEDRU P., LARDEAUX J.M., SANTALLIER D., AUTRAN A., QUENARDEL J.M., FLOCH J.P., LEROUGE G., MAILLET N., MARCHAND J. & PLOQUIN A. (1989). - Où sont les nappes dans le Massif central français ? - *Bull. Soc. géol. France*, Paris, (8) V, pp. 605-318.
- 24 - LEFEVRE R. & MICHARD A. (1976). - Les nappes briançonnaises internes et ultra-briançonnaises de la bande d'Acceglio (Alpes franco-italiennes). Une étude structurale et pétrographique dans le faciès des schistes bleus à jadéite. - *Sci. Géol. Bull., Strasbourg*, 29, pp. 183-222.
- 25 - LONCHAMPT D. (1962). - Etude géologique du volcanisme permien du Guil, de la haute-Ubaye et haute-Maira. Thèse 3e cycle, Univ. Grenoble, 105 p.
- LORENZ V. & NICHOLLS I.A. (1984). - Plate and intraplate processes of Hercynian Europe during the Late Paleozoic. - *Tectonophysics, Amsterdam*, 107, pp. 25-56.
- 26 - LORENZONI S. (1965). - Studio geo-petrografico del versante italiano del Massiccio d'Ambin. - *Mem. Ist. Geol. Miner. Univ. Padova*, 25, 88 p.

- MAGGETTI M. & G. GALETTI G. (1988). - Evolution of the Silvretta eclogites : metamorphic and magmatic events. - Schweiz. mineral. petrogr. Mitt., Zürich, 68, pp. 467-484.
- 27 - MICHEL R. & LONCHAMPT D. (1963). - Le gisement volcanique permien du Guil (Hautes-Alpes). - 88e Congr. Soc. sav., Paris, pp. 131-141.
- MIYASHIRO A. (1974). - Volcanic rock series in island arcs and active continental margins. Amer. J. Sc., New Haven, 274, pp. 321-355.
- MOINE B. (1974). - Caractères de sédimentation et de métamorphisme des séries précambriennes épizonales à catazonales du centre de Madagascar. Mém. Sc. Terre Nancy, 31.
- ORSINI J.B. (1979). - Existence de trois associations magmatiques dans les granitoïdes post-viséen moyen (groupe des granodiorites-monzogranites) de la chaîne varisque française. C.R. Acad. Sc. Paris, 289, pp. 981-984.
- 28 - OUAZZANI H. (1985). - Contribution à l'étude du volcanisme paléozoïque de la zone Briançonnaise (Alpes internes). Un exemple de magmatisme calco alcalin hautement potassique. - D.E.A., Univ. Nancy I, 38 p.
- PEARCE J.A. & CANN J.R. (1973). - Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analyses. - Earth Planet. Sc. Lett., Amsterdam, 19, pp. 289-300.
- PEARCE J.A. & NORRY M.J. (1979). - Petrogenetic implications of Ti, Zr, Y and Nb variations in volcanic rocks. Contrib. Mineral. Petrol., Heidelberg, 69, pp. 33-47.
- PEARCE J.A., HARRIS N.B.W. & TINDLE A.G. (1984). - Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. - J. Petrol., Oxford, 25, pp. 956-983.
- 29 - PERUCCIO-PARISON M.D. (1984). - Problèmes pétrochimiques et structuraux en Vanoise septentrionale (Savoie). - Thèse 3e cycle, Univ. Paris-Sud, 358 p.
- 30 - PIANTONE P. (1980). - Magmatisme et métamorphisme des roches intrusives calco-alcalines du Cabonifère Briançonnais entre Arc et Durance : minéralogie, pétrographie, géochimie. Thèse 3e cycle, Univ. Grenoble, 214 p.
- PITCHER W.S. (1987). - Granites and yet more granites forty years on. - Geol. Rdschau, Stuttgart, 76, pp. 51-79.
- PLOQUIN A. (1975). - Etude géochimique et pétrographique du complexe de gneiss, maigmatites et granites du Telemark-Aust-Agden (Précambrien de Norvège du Sud). Sa place dans l'ensemble épizonal à catazonal profond du haut Telemark au Bamble. - Sci. Terre Nancy, Mém. 38, 389 p.
- PLOQUIN A., STUSSI J.M., BOURGUIGNON A. & CUNNEY M. (1988). - French Paleozoic granitoid mapping : problems on orthogneiss typology. - Intern. Conf. I.G.C.P. 233, Montpellier, abstracts.
- 31 - POGNANTE U., CASTELLI D., BOGLIOTTI C. & CALLEGARI E. (1984). - Caratteri petrografici e petrochimici di alcuni metagabbri ed ortogneiss aplitici tardo-paleozoici del Massiccio d'Ambin, zona Briançonnaise interna (Alpi occidentali). - Rendic. Soc. Ital. Mineral. Petrol., Milano, 39, pp. 275-280.
- POGNANTE U. & SANDRONE F. (1989). - Eclogites in the northern Dora-Maira nappe (Western Alps, Italy). Mineral. Petrol., 40, pp. 57-71.
- RADELLI L. & DESMONS J. (1987). - Pennique, Téthys et orogène crétacé moyen dans les Alpes. C.R. Acad. Sci., Paris, 305 (II), pp. 1375-1378.
- RADELLI L. & DESMONS J. (1987). - Cinématique des Alpes. - Inédit, 6 p.
- 32 - SABY P. (1986). - La lithosphère océanique de la Téthys ligure. Etude du magmatisme et des minéralisations associées dans les ophiolites du Queyras (zone piémontaise des Alpes occidentales). - Thèse, Univ. Grenoble, 242 p.
- SABY P., CHAPPELLE B., PIBOULE M. & TRICART P. (1988). - Preuves d'une origine continentale pour les granitoïdes remaniés au sein des ophiolites du Pic Marcel (zone piémontaise des Alpes occidentales). - C.R. Acad. Sc., Paris, 307 (II), pp. 973-978.
- 33 - SALIOT P. (1978). - Le métamorphisme dans les Alpes françaises. - Thèse Sci., Univ. Paris-Sud, 183 p.
- 34 - SANDRONE R., CORDOLA M., FONTAN D. & SACCHI R. (1986). - Pre-Variscan granitoids in the Dora-Maira Massif (Cottian Alps). - Atti Accad. Sc. Torino, 120, 11 p.
- 35 - SANDRONE R., SACCHI R., CORDOLA M., FONTAN D. & VILLA J.M. (1968). - Metadiorites in the Dora-Maira polymetamorphic basement (Cottian Alps). - Rendic. Soc. Ital. Mineral. Petrol., Milano, 43, pp. 593-618.
- SANTALLIER D., BRIAND B., MENOT R.P. & PIBOULE M. (1988). - Les complexes leptyno-amphiboliques (C.L.A.) : revue critique et suggestions pour un meilleur emploi de ce terme. Bull. Soc. géol. Fr., Paris, (8), 4, pp. 3-12.
- 36 - SARTORI M. & THELIN P. (1987). - Les schistes ocellés albitiques de Barmeuza (Nappe de Siviez-Mischabel, Valais, Suisse). - Schweiz. mineral. petrogr. Mitt., Zürich, 67, pp. 229-256.
- SASSI F.P., VISONA D. & ZIRPOLI G. (1987). - Similarities among the lithostratigraphic sequences in different parts of the Austroalps (Eastern Alps). - In : H.W. Flügel, F.P. Sassi & P. Greccola, Ed. Pre-Variscan and Variscan events in the Alpine-Mediterranean mountain belts. Mineralia slovacica - Monography. - Alfa, Bratislava, pp. 427-430.
- 37 - STILLE P. (1980). - On the genesis of the amphibolites and hornblendefelses in the Berisal complex (Simplon ; Italy-Switzerland). Mem. Sci. Geol., Padova, 34, pp. 205-246.

- 38 - STILLE P. & TATSUMOTO M. (1985). - Precambrian tholeiitic-dacitic rock-suites and Cambrian ultramafic rocks in the Pennine nappes system of the Alps : evidence from Sm-Nd isotopes and rare earth elements. - *Contrib. Mineral. Petrol.*, Heidelberg, 89, pp. 184-192.
- STUSSI J.M. & de LA ROCHE H. (1984). - Le magmatisme orogénique granitique de la chaîne varisque française. Typologie chimique et répartition spatiale. - *C.R. Acad. Sc.*, Paris, 298 (II), pp. 43-48.
- 39 - THELIN P. (1983). - Les gneiss ocellés de la nappe du Grand Saint-Bernard. Essai d'évaluation des critères susceptibles d'en préciser l'hérédité pré-métamorphique (Alpes valaisannes, Suisse). Thèse Sci., Univ. Lausanne, 485 p.
- 40 - THELIN P. (1987). - Nature originelle des gneiss ocellés de Randa (Nappe de Siviez-Mischabel, Valais). *Mém. Soc. vaudoise Sc. Nat.*, Lausanne, n° 104, 18, 75 p.
- THELIN P. & AYRTON S. (1983). - Cadre évolutif des événements magmatico-métamorphiques du socle anté-triasique dans le domaine pennique (Valais). Données récentes, synthèse chronologique et suggestions de recherches ultérieures. - *Schweiz. mineral. petrogr. Mitt.*, Zürich, 63, pp. 393-420.
- THELIN P., LENGELER R. & SARTORI M. (1989). - Les éclogites du socle Siviez-Mischabel : occurrence, paragenèse, âge présumé (Val Tourtemagne et Val Moiry, Valais). - *Schweiz. mineral. petrogr. Mitt.*, Zürich, 69, p. 130.
- TOLLMANN A. (1986). - *Geologie von Österreich (Band 3)*. - Fr. Deuticke, Wien, 718 p.
- 41 - VIALON P. (1966). - Etude géologique du massif cristallin Dora-Maira, Alpes cottiennes, Italie. - Thèse Sci. Univ. Grenoble, 293 p.
- VIVIER G., MENOT R.P. & GIRAUD P. (1987). - Magmatismes et structuration orogénique paléozoïques de la chaîne de Belledonne (massifs cristallins externes alpins). Le domaine nord-oriental. - *Géol. Alpine*, Grenoble, 63, 25-53.
- ZIEGLER P.A. (1986). - Geodynamic model for the Palaeozoic crustal consolidation of Western and Central Europe. - *Tectonophysics*, Amsterdam, 125, 303-328.
- ZINGG M.A. (1989). - Die Siviez-Mischabel-Decke : Entstehung und Entwicklung eines Altkristallins. - *Schweiz. mineral. petrogr. Mitt.*, Zürich, 69, p. 130.