

**Zeitschrift:** Eclogae Geologicae Helvetiae  
**Herausgeber:** Schweizerische Geologische Gesellschaft  
**Band:** 81 (1988)  
**Heft:** 2

**Artikel:** Volcanisme, sédimentation et tectonique pendant le Permo-Carbonifère en Briançonnais ligure : une revue  
**Autor:** Cortesogno, Luciano / Dallagiovanna, Giorgio / Vannucci, Riccardo  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-166190>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 08.02.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Volcanisme, sédimentation et tectonique pendant le Permo-Carbonifère en Briançonnais ligure: Une revue

Par LUCIANO CORTESOGNO<sup>1)</sup>, GIORGIO DALLAGIOVANNA<sup>2)</sup>, RICCARDO VANNUCCI<sup>2)</sup> et MARIO VANOSSI<sup>2)</sup>

## RÉSUMÉ

Les formations briançonnaises tardi-hercyniennes des Alpes ligures, d'âge compris entre le Carbonifère supérieur et le Permien (fig. 1 à 3), sont représentées par un ensemble de sédiments et de volcanites, mis en place en milieu continental, où ils ont comblé des graben et des demi-graben bordés par deux systèmes de failles actives, dont la direction actuelle est de N30° et N110° (fig. 4). Le volcanisme, à caractère essentiellement calco-alcalin, parfois sub-alcalin potassique à affinité shoshonitique, s'est déroulé pendant trois épisodes, surtout explosifs, qui ont formé une trilogie rhyolites-andésites-rhyolites, dont le volume total est d'au moins 1000 km<sup>3</sup>. Le dispositif régional ligure s'accorde bien avec celui connu pour les autres secteurs de l'Europe occidentale.

## ABSTRACT

Late Variscan formations in the Briançonnais belt of the Ligurian Alps, ranging from upper Carboniferous to Permian (Fig. 1, 2, 3), are composed of sediments and volcanics, which filled up continental graben and half-graben, bordered by two systems of active faults, presently trending N30° and N110° (Fig. 4). The volcanic sequence – whose petrochemical characters are principally calc-alkaline, sometimes potassic sub-alkaline with shoshonitic affinity – was built during three main, mostly explosive, events; rhyolitic, then andesitic, finally again rhyolitic products were erupted, for a total volume of at least 1000 km<sup>3</sup>. The Ligurian paleogeographic picture seems to be well comparable with that already known from other sectors of western Europe.

## RIASSUNTO

Le formazioni brianzonesi tardo-erciniche delle Alpi liguri, di età compresa tra il Carbonifero superiore e il Permiano (fig. 1, 2, 3), sono rappresentate da un insieme di sedimenti e di vulcaniti, messi in posto in ambiente continentale, ove hanno colmato graben e semi-graben delimitati da due sistemi di faglie attive, aventi attualmente direzione N30° e N110° (fig. 4). Il vulcanismo, a carattere essenzialmente calcalcalino, talora sub-alcalino potassico ad affinità shoshonitica, si è sviluppato durante tre episodi, soprattutto esplosivi, che hanno formato una trilogia rioliti-andesiti-rioliti, per un volume totale di almeno 1000 km<sup>3</sup>. Il quadro regionale ligure è in buon accordo con quello conosciuto per gli altri settori dell'Europa occidentale.

## Introduction

Cette note se propose de présenter une mise au point synthétique des connaissances sur les formations permo-carbonifères du Briançonnais ligure. Les terrains en question

<sup>1)</sup> Istituto di Petrografia, Corso Europa, I-16132 Genova.

<sup>2)</sup> Dipartimento di Scienze della Terra, Strada Nuova 65, I-27100 Pavia.

sont largement représentés dans les Alpes ligures, où ils occupent en surface environ  $10^3$  km<sup>2</sup> (CORTESOGNO et al. 1984b), en constituant une bande allongée en direction environ W–E, entre le méridien de Boves et la Mer Ligure (fig. 1).

Le Briançonnais ligure est affecté par une structuration alpine polyphasée, tant au point de vue des déformations que du métamorphisme; plusieurs nappes, de couverture ou de socle, y ont été reconnues, provenant de différents secteurs paléogéographiques (externes à très internes) appartenant au domaine briançonnais. L'orogénèse alpine a donc modifié considérablement les lithofaciès et leurs rapports géométriques originaires, ce qui conduit à évaluer avec prudence les reconstitutions stratigraphiques et paléogéographiques (y comprises les paléodirections) proposées ci-dessous.

Le découpage du domaine briançonnais en plusieurs secteurs étant intervenu à partir du Trias, au niveau du Permo-Carbonifère trois seules distinctions (entre Briançonnais interne, intermédiaire et externe) peuvent suffire.

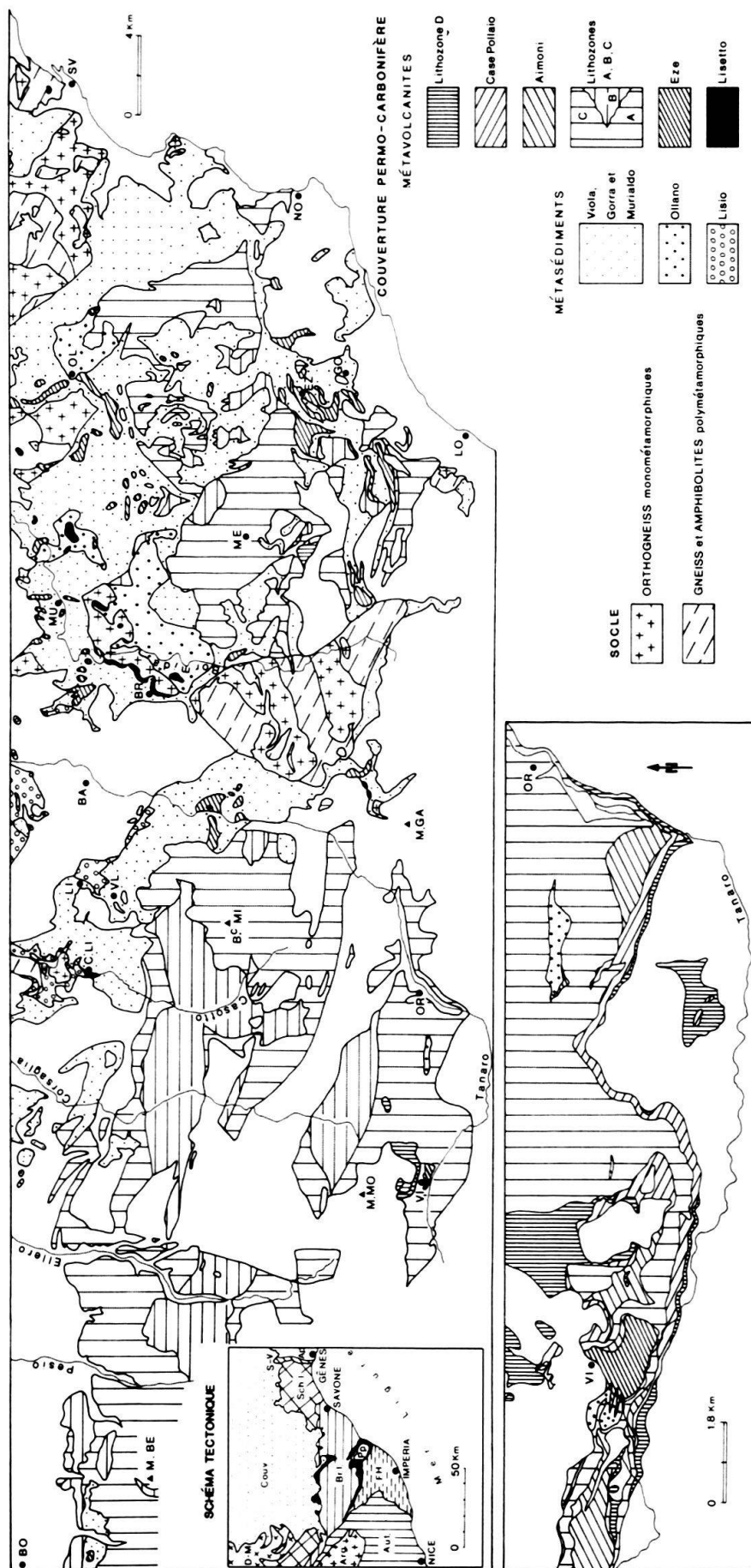
### Les formations permo-carbonifères

Suivant les zones (fig. 1), le vieux socle briançonnais affleure sous forme d'un ensemble («Unité de Calizzano–Savone») de gneiss et amphibolites polymétamorphiques, accompagnés par des intrusions d'orthogneiss granitoïdes à une seule phase de métamorphisme anté-alpin, ou bien sous forme de ces seuls granitoïdes («Orthogneiss de Nucetto et de Barbassiria»). Dans le premier cas le socle est presque toujours dépourvu de couverture permo-carbonifère (voir cependant DALLAGIOVANNA 1988); celle-ci s'observe au contraire fréquemment sur les orthogneiss «isolés»; puisque ces derniers affleurent seulement dans les secteurs briançonnais internes et intermédiaires, la base de la série tardi-hercynienne ne peut pas être observée en Briançonnais externe, où elle est cachée en profondeur (fig. 2).

L'âge de cette série n'est pas connu avec précision, à cause de la rareté de restes végétaux (par lesquels seuls le Westphalien supérieur et le Stéphanien ont pu être caractérisés) et du manque, à l'heure actuelle, de datations radiométriques. La position géométrique des différentes formations et les corrélations régionales, appuyées surtout sur les diverses phases de l'activité volcanique, indiquent que la base pourrait se placer dans le Westphalien inférieur (voir même dans le Namurien) et que le sommet devrait à peu près correspondre à la fin du Permien inférieur (fig. 3). Une discordance géométrique, effacée par l'orogénèse alpine, mais vraisemblablement très faible dès l'origine, sépare la série en question du Verrucano briançonnais, auquel on prête un âge permien supérieur et par lequel on fait débiter le cycle dépositionnel alpin, au sens large.

Pour ce qui concerne la lithologie, le Permo-Carbonifère est formé par un ensemble de dépôts continentaux et de produits volcaniques, superposés et juxtaposés; les premiers dominent pendant le Carbonifère supérieur, alors que les seconds constituent la presque totalité des formations du Permien inférieur.

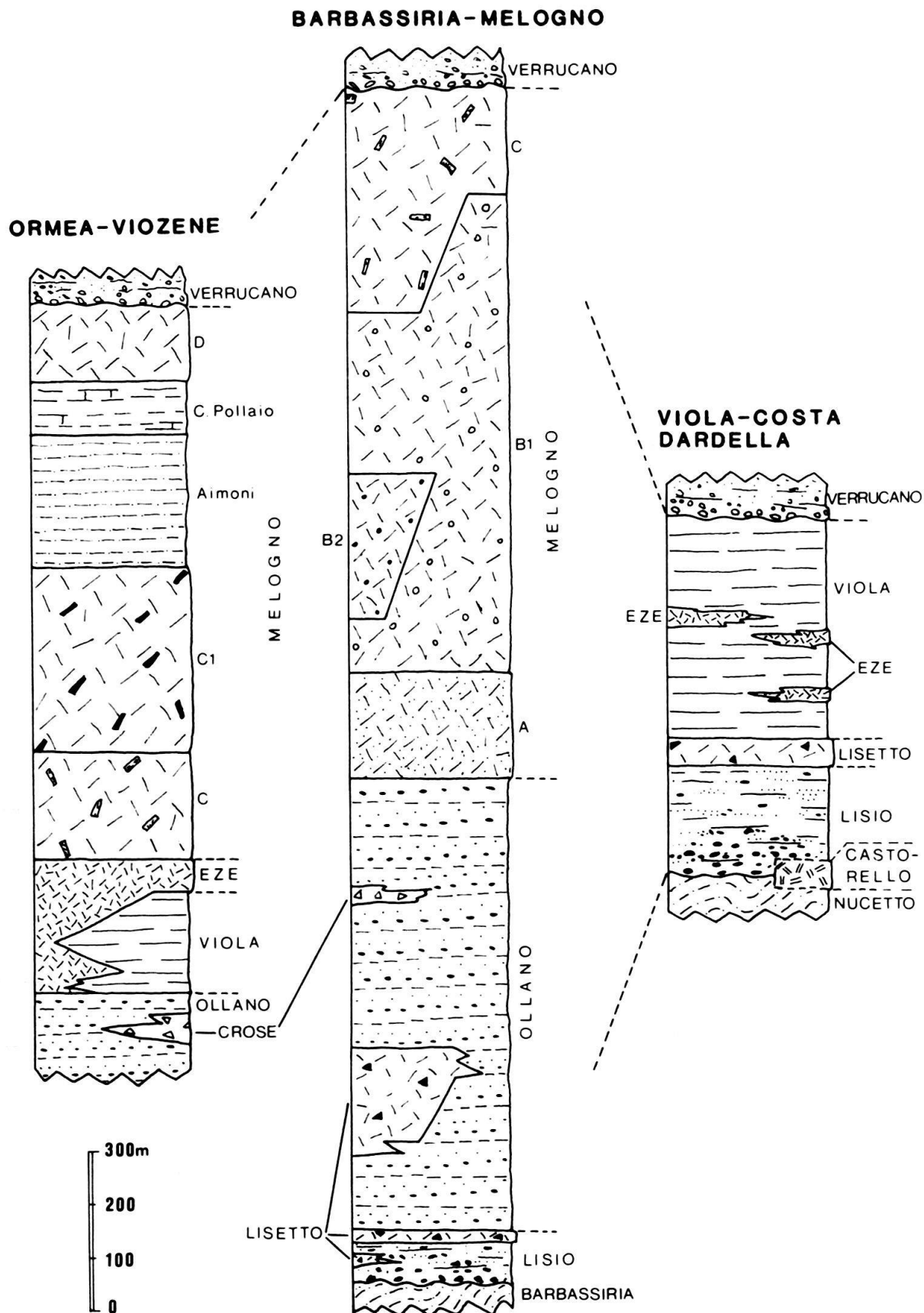
A partir de sa base, la série permo-carbonifère a été subdivisée (CORTESOGNO et al. 1984b; CABELLA et al. 1988) dans les unités lithologiques brièvement décrites ci-dessous (fig. 2); elles seront présentées par leurs caractères primaires, en omettant leur portrait métamorphique actuel.



Les colonnes stratigraphiques de la figure 2 se situent près des localités OR-VI (secteur SW), BR ME (secteur central), VL (secteur N).

*Schéma tectonique*: Couv. = Couverture oligocène à quaternaire; Ap. = Unités de l'Apennin septentrional; Sch.l. = «Massif» Dora-Maira; FH = Flyschs à Helminthoïdes; Pp. = Unités pré-piémontaises s.l.; Br.l. = Briançonnais ligure; Aut. = Autochtone et parautochtone des zones externes; Arg. = Argentera-Mercantour.





*Formation de Lisio*

Connue localement dans les secteurs interne et intermédiaire, elle représente la base de la série et est constituée par des sédiments de grossiers à fins, vraisemblablement issus de l'érosion des orthogneiss sous-jacents: leur composition est en fait arkosique à quartzitique. L'épaisseur, variable, ne dépasse pas les 200 m. L'âge supposé serait westphalien inférieur-namurien.

*Formation de Ollano*

Apparaissant dans les secteurs intermédiaire et externe, où elle représente l'équivalent probable du «Houiller productif» du Briançonnais classique, cette formation est constituée par une série détritique fluvio-lacustre à séquences conglomérats-grès-pélites, auxquelles sont associées de rares lentilles graphiteuses. Ses flores ont permis de la dater (BLOCH 1966) au Westphalien supérieur-Stéphanien. Les épaisseurs, très variables, peuvent dépasser plusieurs centaines de mètres.

*Métarhyolites de Case Lisetto*

Affleurant d'une façon discontinue dans tous les secteurs, cet ensemble, généralement peu puissant, représente les manifestations précoces de l'activité volcanique tardi-varisque. Il est formé, pour l'essentiel, par des rhyolites à textures ignimbritiques bien reconnaissables, qui s'intercalent soit dans la partie supérieure de la Formation de Lisio (p.ex. à Case Lisetto), soit à plusieurs reprises dans la Formation de Ollano (p.ex. à Osiglia); dans cette dernière les produits volcaniques sont localement représentés par des agglomérats pyroclastiques («*Tufs du Bric Crose*»).

Les ignimbrites, à composition rhyolitique-rhyodacitique, montrent une texture porphyrique (P.I. entre 30 et 40), avec de grands (1–3 cm) phénoclastes de feldspath potassique et quartz en pourcentages variables: le plagioclase est subordonné (de 0 à 10% en volume des phénocristaux) ainsi que la biotite (de 0,5 à 10%). Apatite et zircon sont fréquents tandis que l'ilménite est plus rare. Le quartz, souvent resorbé, peut montrer des accroissements à texture granophyrique de quartz et de feldspath potassique qui peuvent être issus de la cristallisation eutectique de liquides résiduels ou de processus de dévitrification. Le feldspath potassique montre parfois des inclusions de microphénocristaux de plagioclase ou de quartz. Le plagioclase se présente en petits phénocristaux (1–3 mm) souvent en agglomérats par coalescence. Dans les ignimbrites apparaissent, rarement, des xénolites de micaschistes à grenat ou de métapélites à muscovite et biotite.

Les pyroclastites intercalées dans la Formation de Ollano montrent souvent des clastes volcaniques à composition rhyodacitique-dacitique, généralement riches en biotite.

---

Fig. 2. Lithostratigraphie schématisée et idéalisée des formations permo-carbonifères du Briançonnais ligure interne, intermédiaire et externe (de droite à gauche). La description des unités lithologiques se trouve dans le texte. Les épaisseurs représentées correspondent environ à la moyenne des valeurs maxima. Localisation indiquée dans la figure 1.

D'après la position des intercalations, on peut admettre que cette phase volcanique s'est déroulée sur une période allant du Westphalien (–Namurien?) au Stéphien (inférieur?). Localement, dans le socle, ou entre celui-ci et la Formation de Lisio, des granophyres sont aussi connus («*Granophyres du rio Castorello*»); ils sont considérés (CORTESOGNO et al. 1982), sans preuves indiscutables, comme étant liés aux manifestations volcaniques principales, du Permien inférieur.

#### *Formation de Murialdo, Schistes de Viola, Schistes de Gorra*

Il s'agit essentiellement de métasédiments fins, qui ont été distingués en trois unités lithologiques surtout en raison de leur situation géographique différente et des lithofaciés semblables, mais non identiques. La première (*Murialdo*) affleure dans le secteur interne et se caractérise par ses phyllades graphiteuses noires dominantes. La deuxième (*Viola*) est ubiquitaire et comporte des alternances de phyllades noires, subordonnées, et de métasédiments (gréso-)pélitiques clairs, caractérisés par une composition à quartz, avec micas et chloritoïde, tourmaline et rutile souvent abondants, représentant probablement des sédiments continentaux énergiquement lessivés. La dernière (*Gorra*), affleurant dans les secteurs interne et intermédiaire, est formée par des roches claires, fines, ayant différentes origines: sédiments quartzo-micacés, dominants, en tout point comparable à ceux qu'on observe dans la Formation de Viola; tuffites et/ou produits de remaniement de volcanites acides; pyroclastites. Les épaisseurs, variables, sont toujours dans l'ordre de quelque centaines de mètres.

Les études lithostratigraphiques, en raison des déformations alpines et de la relative monotonie des lithotypes, sont encore incomplètes et les résultats partiels sont conti-

ÂGE PRÉSUMÉ	SÉDIMENTS												VOLCANITES									ACTIVITÉ TECTO- NIQUE						
	Lisio			Ollano			Murialdo			Viola			Gorra			Verruc.			Lisetto				Eze			Melogno		
	ex	im	in	ex	im	in	ex	im	in	ex	im	in	ex	im	in	ex	im	in	ex	im	in		ex	im	in	ex	im	in
	?	+	+	+	+	-	-	-	+	+	+	+	?	+	+	+	+	+	+	+	+		+	+	+	+	+	?
PERMIEN SUP.																												
PERMIEN INF.																												
STÉPHAN.																												
WESTPHAL.																												
NAMURIEN																												

Fig. 3. Age présumé (très hypothétique) des différentes formations du Permo-Carbonifère du Briançonnais ligure et des phases de tectonique cassante qui ont accompagné leur mise en place, en milieu continental, par sédimentation ou par activité volcanique. La présence (+) ou l'absence (–) originales probables de chaque formation dans les secteurs externe (*ex*), intermédiaire (*im*), interne (*in*) sont aussi précisées.

nuellement remis en question. Outre le type de dépôt – fin, continental – le principal caractère commun aux trois formations est constitué par les intercalations prasinitiques («Formation de Eze», voir ci-dessous), qui représentent l'épisode intermédiaire de l'activité volcanique tardi-hercynienne.

Sur la base des plus récentes recherches, nous pensons qu'on pourrait considérer ces trois unités lithologiques comme étant en gros contemporaines et leur attribuer un âge essentiellement stéphanien. Dans le détail (compte tenu aussi des différences lithologiques, qui, dans une certaine mesure, paraissent correspondre à des changements du climat et/ou de l'activité volcanique contemporaine), il est possible que leurs relations stratigraphiques soient un peu plus complexes et leurs âges en partie décalés, comme on l'a hypothétiquement indiqué dans la figure 3.

### *Formation de Eze*

Auparavant considérée, bien qu'hypothétiquement, comme étant confinée aux secteurs interne et intermédiaire (CORTESOGNO et al. 1983, 1984b), on vient d'en découvrir des équivalents probables aussi dans le secteur externe. Elle représente l'épisode volcanique intermédiaire, comportant des laves essentiellement andésitiques et des pyroclastites, le plus souvent fines, parfois (dans le secteur externe) même très grossières, constituant des brèches d'explosion.

Les différents lithofaciès sont intercalés à plusieurs reprises – comme on l'a dit – aux sédiments fins de Murialdo, de Gorra ou de Viola, à l'intérieur desquels ils forment des corps d'épaisseur et extension variables. Les transitions entre sédiments continentaux et cinérites sont ménagées, les deux apports étant – en plus – souvent mélangés, en donnant des roches qui actuellement sont des schistes plus ou moins franchement prasinitiques. Exceptionnellement, des filons et des coulées andésitiques traversent le socle hercynien, ou le recouvrent directement (Calizzano). Enfin, de très rares faciès plus franchement basaltiques viennent d'être découverts dans le secteur intermédiaire, près de la Colla de Valcasotto.

Les laves du secteur interne montrent essentiellement un caractère porphyrique (P.I. = 5–10%) avec mésostase à texture intersertale plus ou moins reconnaissable. Les phénocristaux sont représentés par le plagioclase et la biotite, moins fréquemment par le plagioclase et le clinopyroxène ou l'hornblende; la présence de microphénocristaux de olivine ou d'orthopyroxène est parfois suggérée par des agrégats pseudomorphes. Titanomagnétite ou, plus fréquemment, ilménite sont diffus et souvent abondants, de même que l'apatite.

Dans quelque cas les textures montrent que la cristallisation du plagioclase précède celle du clinopyroxène, qui à son tour précède l'hornblende.

Les filons montrent une texture porphyrique évidente (P.I. = 20%) à microphénocristaux de plagioclase et, plus rarement, de clinopyroxène, avec mésostase intersertale.

Dans le secteur externe les volcanites montrent un caractère relativement plus leucocrate, avec des termes à composition de latianésite. Les phénocristaux sont représentés par le plagioclase et la biotite avec de l'hornblende, rare.

*Porphyroïdes du Melogno*

Ils représentent la phase la plus importante – du point de vue du volume des matériaux émis, vraisemblablement bien supérieur à 1000 km<sup>3</sup> – et la plus récente de l'activité volcanique, considérée d'âge essentiellement permien inférieur. On les connaît seulement dans les secteurs intermédiaire et externe, alors que dans l'interne on ne dispose que de clastes rhyolitiques contenus dans les niveaux inférieurs du Verrucano: pour ce secteur on peut donc choisir entre absence originaire – le Verrucano pouvant avoir été alimenté des secteurs plus externes – et érosion néopermienne.

L'ensemble est formé essentiellement par des ignimbrites; on y a distingué (CORTESOGNO et al. 1984b; CABELLA et al. 1988) plusieurs lithozones et membres, qu'on ne retrouve jamais sur une même verticale et dont les épaisseurs peuvent être très variables. De la base au sommet, une colonne stratigraphique idéale comporterait les termes suivants.

*Lithozone A:* Représentée par des niveaux minces et discontinus de rhyolites claires et fines à texture d'ignimbrite, souvent silicifiées; tous les autres caractères rapprochent ces niveaux à ceux de la Lithozone C.

*Lithozone B:* Constituée surtout (*lithozone B<sub>1</sub>*) par des ignimbrites, à composition de rhyolite–rhyodacite, caractérisées par des phénocristaux souvent très grands (pouvant atteindre 5 cm) et très abondants (P.I. jusqu'à 80) de quartz et de feldspath potassique, avec plagioclase, biotite et parfois hornblende subordonnés. Zircon, apatite et ilménite sont fréquents. Localement les ignimbrites sont remplacées par des brèches à éléments de rhyodacite dans une matrice plus acide, rhyolitique, par des corps à texture de granophyre qui probablement représentent des dômes d'extrusion, ou (*lithozone B<sub>2</sub>*) comportent des intercalations de niveaux de: a) laves à composition de rhyodacite, b) laves dacitiques à plagioclase, hornblende, biotite et quartz corrodé, riches en ilménite, apatite, allanite et plus rare zircon, c) brèches à éléments de rhyodacite à dacite dans une matrice à composition rhyolitique, d) pyroclastites rhyolitiques.

*Lithozone C:* Relativement homogène, elle correspond aux faciès les plus communs et est constituée par des ignimbrites et pyroclastites parfois plus ou moins remaniées; la composition primaire est rhyolitique et les phénocristaux (P.I. = 20–35), à grain petit ou moyen, sont représentés par le feldspath potassique et le quartz en quantité à peu près équivalente, avec plagioclase et biotite subordonnés. Vers le sommet, des laves dacitiques vertes sont localement intercalées; elles contiennent parfois des microphénocristaux de clinopyroxène et/ou de hornblende et, souvent, des xénocristaux de quartz.

*Lithozone C<sub>1</sub>:* Identifiée récemment, comme les deux membres suivants, dans le secteur externe (zone de Ormea–Viozene), elle se distingue de la précédente par une plus grande quantité de feldspath potassique.

*Membre de Aimoni:* Pyroclastites versicolores dominantes, souvent vertes et violettes, de taille variable entre les cinérites, abondantes, et les brèches, subordonnées. Elles comportent des termes rhyolitiques à rhyodacitiques comparables à ceux de la lithozone C, mais on peut y reconnaître des processus secondaires plus importants de silicification et altération. De relativement rares niveaux de dacites vertes, souvent à texture vacuolaire, sont aussi présents. Les volcanites sont intercalées à des strates de pélites



graphiteuses; ces dernières peuvent aussi se mélanger aux produits volcaniques fins pour donner des tuffites.

*Membre de Case Pollaio*: Cinérites noirâtres dominantes; intercalations, et passages latéraux(?), aux ignimbrites de la lithozone D; présence de carbonates; fréquemment plus ou moins silicifiés, soit en nodules (origine pédogénétique probable), soit en strates (déposées dans d'anciennes sebkhas?); minéralisations à danburite et, plus rares, à réalgar.

*Lithozone D*: Rhyolites, souvent avec textures d'ignimbrite très évidentes. Le faciès dominant montre un teint rouge à zones blanchâtres, qui dérive de phénomènes de mobilisation hydrothermale donnant lieu à dépôt d'hématite. Un faciès vert plus ou moins foncé, souvent pyritisé, est aussi très répandu et surmonte localement le faciès rouge. Parfois, des niveaux noirs se retrouvent à la base de cette lithozone.

Ces rhyolites, plus ou moins porphyriques (P.I. = 5–60), montrent une tendance générale sub-alkaline potassique, plus marquée dans les niveaux noirs, qui se manifeste par la cristallisation précoce de feldspath potassique et biotite et par le manque complet de phénocristaux de plagioclase. La biotite, toujours riche en inclusions d'apatite et zircon, est souvent remplacée par ilménite, probablement à la suite d'une phase de libération de gaz.

### *Verrucano*

D'après les secteurs, il peut reposer soit sur les sédiments fins du Stéphanien présumé, soit sur de différentes lithozones des Porphyroïdes du Melogno. A l'échelle régionale il est donc discordant.

Lorsque sa succession est complète, on y distingue d'abord un niveau basal provenant directement du remaniement presque sur place du substratum: il s'agit de rhyolites arénisées, dont les déformations et le métamorphisme alpins ont rendu délicate l'identification.

Vient ensuite un niveau conglomératique rouge, à clastes rhyolitiques. Par endroits, surtout lorsque le faciès est relativement fin, celui-ci peut être confondu avec les pyroclastites rouges du Membre de Aimoni, ce qui a causé la supposition que l'activité volcanique ait continué dans les Alpes ligures jusqu'à la fin du Permien. En fait, en l'état actuel des connaissances, le volcanisme ligure apparaît partout plus ancien que le Verrucano, qui en remanie les derniers produits.

Le troisième niveau du Verrucano est représenté par des conglomérats (localement des grès grossiers) à galets essentiellement de quartz. Dans sa partie inférieure on trouve encore, bien que très rarement, des clastes volcaniques et le quartz montre souvent une patine ou une imprégnation hématitique extrêmement fine et apparemment diffuse de teinte rose. Mais la plus grande partie du niveau contient des galets uniquement quartzeux, le plus souvent blancs, tantôt gris foncés-noirâtres.

Vers le sommet le Verrucano passe, avec transition ménagée mais rapide, aux quartzites du Trias inférieur, dans la partie basale desquels on trouve encore des chenaux conglomératiques. Aucun des niveaux décrits ci-dessus n'est continu; dans les différents endroits le Verrucano peut donc être représenté même par un seul d'entre eux, ou manquer totalement. Puisque sa base constitue assez souvent un horizon de décollement à l'époque alpine, sa stratigraphie de détail reste fréquemment incertaine.



### Caractères de la tectonique tardi-hercynienne

Comme on l'a dit, toutes les formations permo-carbonifères des Alpes ligures montrent des épaisseurs très variables, ce qui est en accord avec leur mise en place en milieu continental, soit par sédimentation, soit par activité volcanique.

En général, les déformations alpines empêchent de distinguer à coup sûr ce qui résulte d'une paléogéographie tardi-hercynienne de ce qui dérive de la tectonique alpine. Néanmoins, au fur et à mesure que les levés détaillés et l'analyse structurale procèdent, on acquiert une raisonnable certitude que beaucoup des variations d'épaisseur observées ne dérivent pas d'érosions tectoniques, mais de conditions originaires: en fait, elles paraissent suivre une logique géométrique incompatible avec la tectonique alpine, mais cohérente avec l'existence d'anciens systèmes de graben et demi-graben.

Cette conclusion, déjà proposée pour la Formations de Ollano (VANOSSI 1970), vient de trouver de nouveaux appuis pour les Porphyroïdes du Melogno du secteur externe (CABELLA et al. 1988). Les variations observées sont soit brusques, soit progressives et se réalisent toujours selon deux directions à peu près orthogonales: environ N30° et N110°: en remettant à leur place les différentes coupes sérieées levées sur le terrain, nous avons cru pouvoir interpréter ces directions comme deux systèmes de paléo-failles (fig. 4) isolant des bassins et des demi-bassins d'effondrement. Compte tenu de la probable rotation alpine sénestre des Alpes ligures (voir discussion dans VANOSSI et al. 1986), les orientations originaires de ces paléo-failles seraient environ N0° et N80°.

La distinction à l'intérieur des Porphyroïdes du Melogno de plusieurs lithozones a en outre permis de mieux évaluer et interpréter les variations latérales et verticales d'épaisseur et de les corrélérer aux changements de faciès; on est ainsi arrivé à l'individualisation de plusieurs «pulsations» tectoniques, à chacune desquelles correspond le jeu des failles préexistantes ou la naissance d'accidents nouveaux. Les différences de pétrographie entre les divers niveaux d'ignimbrites actuellement juxtaposés (fig. 5) suggèrent leur superposition le long d'anciennes surfaces inclinées (interprétées comme des escarpements de faille) plutôt que leur hétéropie.

D'après le tableau des âges présumés (fig. 3) pour les formations à caractère molassique et compte tenu aussi du cadre régional (voir plus loin), il est probable que les déformations et le métamorphisme hercyniens du socle aient été acquis pendant la phase «sudète». Les phases asturiennes – ainsi que les suivantes saaliennes – ont donc en Ligurie un caractère tardi-orogénique, essentiellement cassant et non-compressif.

Alors que la composante verticale du mouvement le long des failles est soulignée par les épaisseurs des sédiments et des produits volcaniques accumulés dans les dépressions, aucun élément certain n'apparaît pour vérifier l'existence d'éventuelles composantes horizontales de glissement; on ne sait donc pas si les graben et les demi-graben (ou certains d'entre eux) n'étaient pas plutôt des bassins de *pull-apart*.

La première phase tectonique cassante paraît commencer au moment (passage Namurien–Westphalien inférieur?) où les premières ignimbrites viennent s'intercaler à, puis s'étendre sur, les produits, apparemment peu évolués (Lisio), de la démolition du socle (fig. 2 et 3). Son intensité – à en juger d'après les épaisseurs de la Formation de Ollano et la distribution de ses affleurements – paraît modeste en Briançonnais interne,

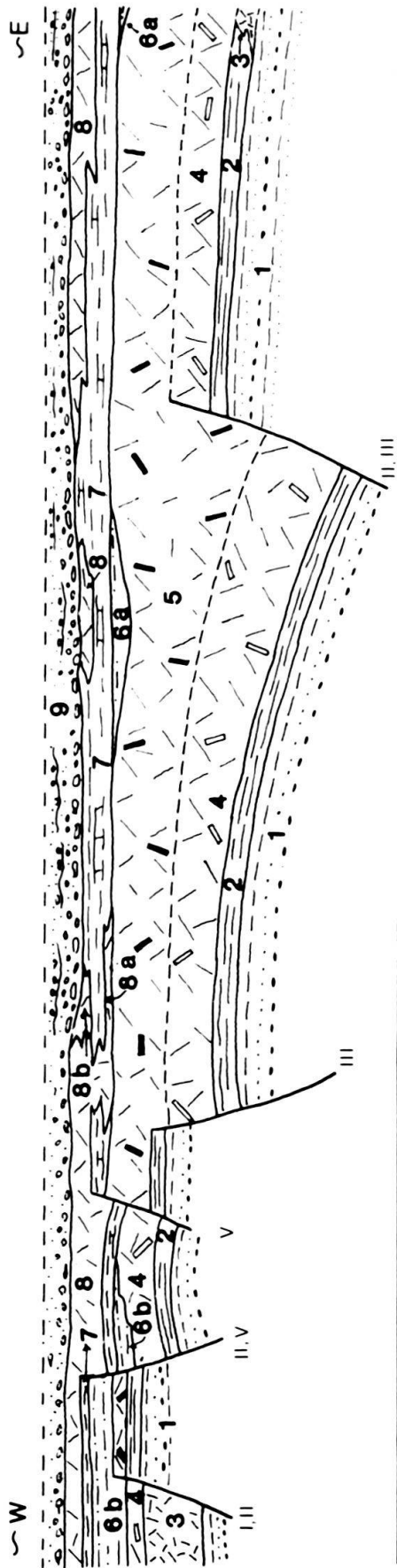
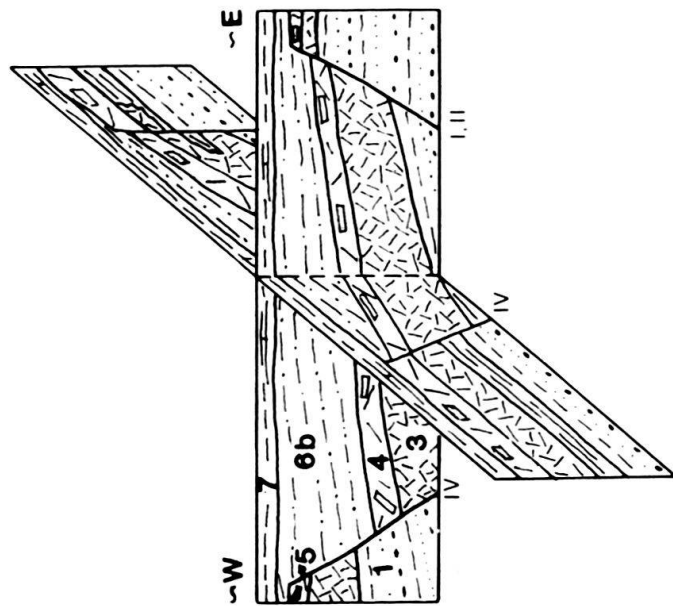


Fig. 4. Exemples des systèmes de failles tardi-hercyniennes introduits dans la reconstitution paléogéographique du secteur briançonnais ligure externe (zone de Ormea-Viozene) pour expliquer les variations d'épaisseur latérales et verticales des différentes unités lithostratigraphiques permo-carbonifères. Les variations sont soit brutales, soit progressives, permettant ainsi d'envisager l'existence de graben et de demi-graben. L'étude combinée des épaisseurs et des faciès amène à introduire, à chaque phase, des rejeux de failles préexistantes ou la naissance de nouveaux accidents. Le croquis en trois dimensions montre les deux systèmes de paléo-failles, à direction environ N 30° (visibles aussi sur la coupe, qui présente une région voisine) et N 110°. 9 = Verrucano. 8 à 4 = Porphyroïdes du Melogno (8, 8a, 8b: lithozone D; 7: Membre de Case Pollaio; 6a, 6b: Membre de Aimoni; 5: lithozone C1; 4: lithozone C). 3 = Formation de Eze. 2 = Schistes de Viola. 1 = Formation de Ollano. En blanc: socle. I à V = phases successives asturiennes et saaliennes de tectonique cassante. Adapté de CABELLA et al. 1988.



forte et croissante pendant le Westphalien supérieur dans les secteurs intermédiaire et externe.

La phase suivante (Stéphanien moyen?), connue dans tous les secteurs, correspond à la mise en place des laves et des pyroclastites andésitiques, localement avec des manifestations d'une activité explosive particulièrement intense.

Le début de l'activité ignimbritique principale – dont les produits remontant le long des systèmes de failles (préexistantes et nouvelles) vont combler les bassins, se mêlant à l'occasion aux sédiments continentaux essentiellement fins – marque une nouvelle phase tectonique (passage Stéphanien–Autunien?), à laquelle d'autres suivent, accompagnant la mise en place des différentes lithozones des Porphyroïdes. A cause de la distribution actuelle de ceux-ci, cette phase n'est pas documentée dans le secteur interne.

Une pause s'instaure (très hypothétiquement on pourrait peut-être la placer un peu avant la fin du Permien inférieur), marquée par un arrêt de la subsidence, auquel sont liés soit des manifestations probablement évaporitiques (passées carbonatées dans le Membre de Case Pollaio), soit un ralentissement de l'activité volcanique, dont les produits (essentiellement cendres) occupent des volumes modestes.

Enfin, vraisemblablement entre le Permien inférieur et supérieur, une dernière phase, assez énergique, probablement ubiquiste, mais avec intensité et effets variables, doit être envisagée pour créer les reliefs nécessaires à l'érosion et au transport des matériaux qui vont alimenter le Verrucano.

Dans les Alpes ligures, la paléogéographie tardi-hercynienne est donc dominée par les effets combinés de l'activité tectonique, volcanique et sédimentaire. L'étude des différents produits, de leurs variations latérales et verticales de faciès et d'épaisseur conduit en plus à envisager une surface topographique relativement peu ondulée, dans laquelle existaient des bassins dont la vitesse de subsidence et de comblement s'équivalaient, sous un climat humide pendant le Carbonifère supérieur et à périodes humides et sèches alternées pendant le Permien inférieur (CABELLA et al. 1988).

### **Caractérisation géochimique des produits volcaniques**

L'étude chimique de plus de 200 volcanites, dont seulement la moitié a été considérée pour la définition des compositions moyennes reportées en tableau 1, a permis soit de tracer les caractères primaires du magmatisme tardi-hercynien du Briançonnais ligure que d'en établir les modifications chimiques successives.

#### *Transformations chimico-minéralogiques*

Les volcanites analysées ont subi pendant la diagenèse et le métamorphisme alpin des transformations chimiques, quelquefois importantes, qui ont intéressé d'une façon variable les différents produits volcaniques et qui comportent surtout des modifications des teneurs en Na, K et Ca.

Compte tenu que la décalcification (liée à l'albitisation et à la séricitisation) est commune à la plupart des volcanites, c'est le comportement différentiel de Na, K et Al (fig. 6) qui reflète les modifications chimiques et offre des indications sur le caractère magmatique primaire.

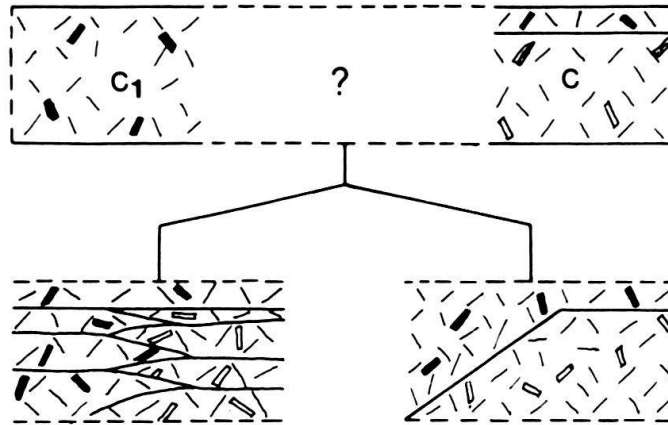


Fig. 5. Exemple d'interprétation des rapports géométriques originaires fondée sur les différences de lithofaciès des Porphyroïdes du Melogno. Les rapports latéraux actuels entre les lithozones C et C1 sont de juxtaposition (*en haut*). Ils pourraient dériver (*en bas*) soit d'une ancienne hétéropie réalisée par superposition de corps lenticulaires alternés à facies C et C1 (*à gauche*), soit d'une ancienne superposition de C1 sur C le long d'une paléopente, vraisemblablement correspondant à une faille active (*à droite*). La composition minéralogique différente des volcanites C et C1 suggère le choix de la deuxième hypothèse (de CABELLA et al., 1988).

Tableau: Composition chimique moyenne des différents épisodes du volcanisme permo-carbonifère du Briançonnais ligure.

	1		2		3		4		5		6		7	
	$\bar{x}$ (21)	s	$\bar{x}$ (13)	s	$\bar{x}$ (8)	s	$\bar{x}$ (10)	s	$\bar{x}$ (39)	s	$\bar{x}$ (14)	s	$\bar{x}$ (33)	s
SiO <sub>2</sub>	73.16	2.28	55.22	3.05	55.60	2.57	58.44	4.00	71.56	3.22	63.94	3.85	72.22	4.30
TiO <sub>2</sub>	0.45	0.21	0.74	0.17	1.44	0.24	0.83	0.20	0.31	0.14	0.56	0.19	0.24	0.15
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.13	1.40	16.54	0.97	19.21	1.44	17.59	1.42	15.40	1.88	16.67	1.62	13.86	1.97
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> tot.	2.25	0.98	8.16	1.66	6.63	0.68	7.61	1.83	2.55	0.88	6.56	2.58	2.03	0.92
MnO	0.03	0.02	0.44	0.46	0.13	0.04	0.13	0.03	0.04	0.05	0.08	0.05	0.08	0.33
MgO	0.46	0.31	5.55	1.99	2.68	0.61	3.41	1.30	0.83	0.64	2.15	1.16	0.86	0.72
CaO	0.49	0.43	4.21	1.78	2.57	1.16	1.49	0.67	0.49	0.43	0.98	0.72	0.31	0.23
Na <sub>2</sub> O	3.03	0.54	3.63	0.87	4.49	1.15	5.61	0.80	2.63	1.22	3.30	2.05	0.66	0.56
K <sub>2</sub> O	4.55	0.71	2.29	1.22	2.46	1.16	1.56	1.00	4.37	1.46	2.81	2.20	7.93	1.75
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.12	0.07	0.21	0.12	0.26	0.05	0.17	0.03	0.11	0.07	0.10	0.05	0.06	0.05
L.O.I.	1.17	0.33	2.97	0.69	4.33	0.69	3.11	0.79	1.57	0.54	2.71	1.26	1.67	0.79
Tot.	99.84	0.24	99.96	0.04	99.80	0.05	99.95	0.05	99.86	0.10	99.86	0.15	99.92	0.05

Colonne 1: Manifestations précoces, termes essentiellement rhyolitiques.

Colonnes 2-4: Episode intermédiaire à chimisme andésitique comprenant «Métavolcanites d'Eze» (colonne 2: secteurs internes; colonne 4: secteurs externes) et «Métavolcanites de Calizzano» (colonne 3).

Colonnes 5-7: Activité principale («Porphyroïdes du Melogno»); colonne 5: termes essentiellement rhyolitiques (lithozones A, B1, B2, C, C1); colonne 6: termes essentiellement dacitiques et rhyodacitiques (lithozones B2, C et Membre de Aimoni); colonne 7: rhyolites subalcalines potassiques (lithozone D).

Les compositions chimiques moyennes se réfèrent aux analyses des échantillons les moins altérés.

L.O.I. = perte au feu;  $\bar{x}$  = valeur moyenne; s = écart type; () = nombre d'échantillons considérés.

Les rhyolites des manifestations précoces tombent dans un domaine centré sur l'origine (point représentatif du quartz) et assez près des compositions magmatiques primaires des rhyolites des séries calco-alkalines. Les altérations chimiques semblent limitées à une perte faible de Na et à un modeste enrichissement en K, tous les deux rapportables aux processus de séricitisation (voire argilification).

Les rhyolites des lithozones A, B<sub>1</sub>, C et C<sub>1</sub> des Porphyroïdes du Melogno montrent des transformations comparables, mais la perte en Na et l'enrichissement en K sont plus importants; du plus, l'ampleur du domaine, qui se situe à l'intérieur des domaines des volcanites intermédiaires (dacites, rhyodacites) du Membre de Aimoni et des lithozones B<sub>2</sub> et C, indique une variabilité remarquable des compositions magmatiques primaires.

Le domaine des rhyolites potassiques appartenant à la lithozone D s'éloigne de la zone occupée par les rhyolites précédentes et montre, à côté de pertes comparables en Na, des teneurs extraordinaires en K. Les teneurs très élevées en K sont en quelque cas attribuables à l'autométamorphisme pendant les phases tardi-magmatiques sous forte activité des fluides, dont les évidences pétrographiques et géochimiques (CORTESOGNO et al. 1984b; CORTESOGNO & VANNUCCI 1987) ont été auparavant signalées. Toutefois, dans la plupart des cas, compte tenu que les volcanites ont subi presque les mêmes phases de transformation chimico-minéralogique qui ont produit des effets comparables sur les différentes rhyolites, on peut déduire que les teneurs particulièrement élevées en K des rhyolites constituant la lithozone D doivent être d'origine primaire, ce qui suggère une affinité magmatique subalkaline potassique typique de séries shoshonitiques (IRVINE & BARAGAR 1971; PECCERILLO & TAYLOR 1976). L'évidence pétrographique de mégacristaux de feldspath potassique, parfois très abondants, est en bon accord avec cette conclusion tirée des données chimiques.

Les volcanites à composition intermédiaire, telles que les dacites du Membre de Aimoni et les lithozones B<sub>2</sub> et C des Porphyroïdes du Melogno, présentent des transformations comparables aux produits plus acides. En effet, la perte en Ca, plus importante et souvent accompagnée par celle en Mg et Fe, peut être expliquée par une expulsion de Fe et Mg et un apport de K, Si et Al pendant le processus diagénétique (argilification) de la mésostase vitreuse et de la biotite (BANZET et al. 1985).

Dans les volcanites andésitiques de l'épisode intermédiaire (Formation de Eze) on peut observer de différentes transformations chimico-minéralogiques.

Tandis que les volcanites en coulées massives, telles les andésites basaltiques (Val Casotto, données inédites) et, en partie, les andésites des secteurs internes, montrent de faibles altérations (phénomènes probables de chloritisation de la mésostase vitreuse et d'albitisation des plagioclases), les andésites des secteurs externes, plus fréquemment constituées par des brèches, sont caractérisées par un enrichissement systématique en Na et un lessivage très fort de Ca, qui comportent comme résultat les compositions spilitiques observées en figure 6.

Ces teneurs plus élevées en Na ne peuvent pas être attribuées à des caractères primaires différents, ce qui pourrait faire penser à une affinité magmatique différente pour les volcanites des secteurs internes et externes. Les évidences pétrographiques relatives aux volcanites des secteurs externes indiquent que l'albitisation est plus importante et que le caractère plus évolué résulte du fractionnement d'amphibole (phase sous-saturée), ce qui produit une augmentation de SiO<sub>2</sub> et du rapport K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O (qui n'est pas



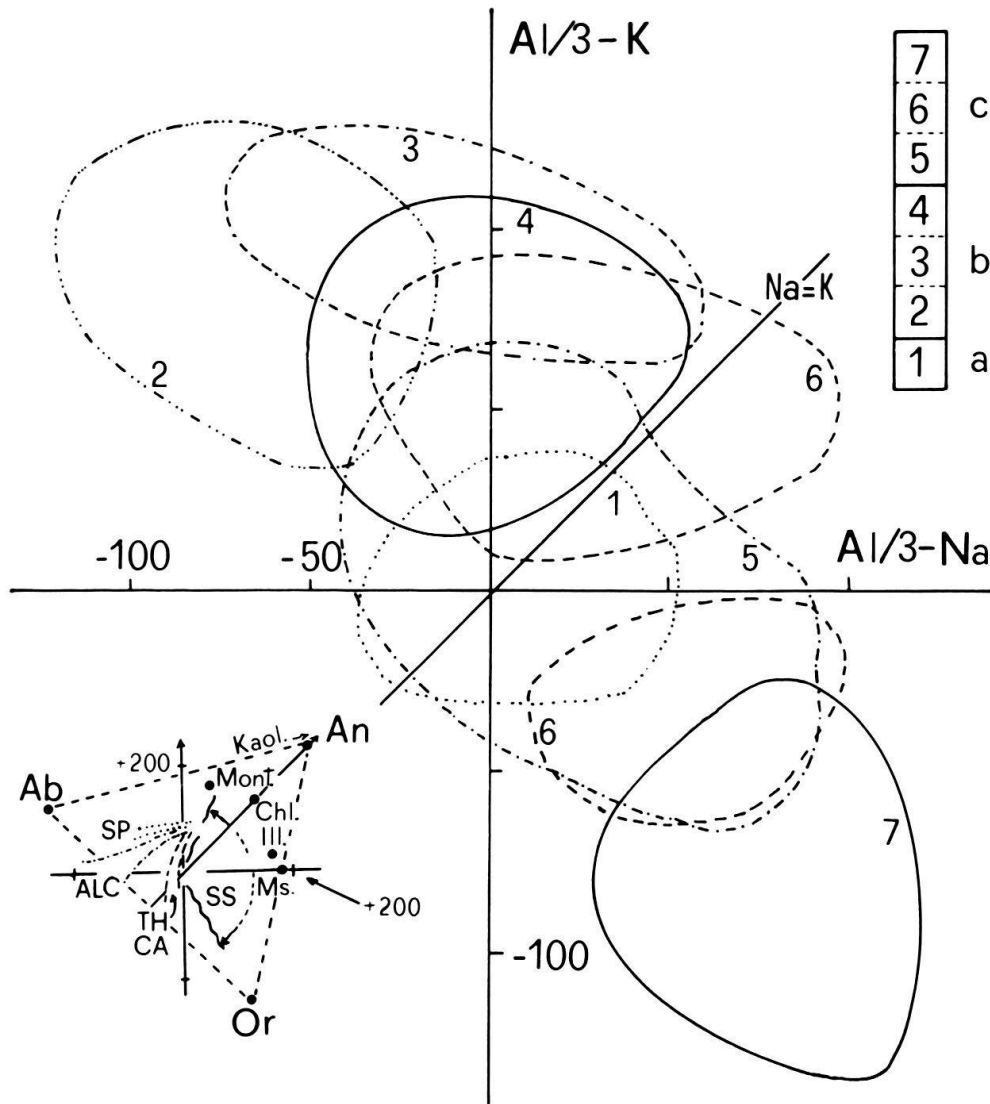


Fig. 6. Diagramme Al/3-K vs. Al/3-Na d'après DE LA ROCHE (1968). Les domaines des différentes volcanites appartenant aux manifestations précoces (a), à l'épisode intermédiaire (b) et à l'activité principale sont indiqués avec la même numérotation que dans le tableau. Tous les échantillons analysés ont été représentés. Dans la figure plus petite (*en bas*): SP = domaine des spilites; ALC = domaine des séries alcalines; TH-CA = domaine des séries tholéitiques et calco-alcalines; SS = secteur sédimentaire.

mis en évidence par les données chimiques), tandis que dans les andésites des secteurs internes on observe surtout la présence de pyroxène  $\pm$  amphibole.

On peut donc envisager que la composition des volcanites andésitiques des secteurs externes résulte seulement de processus d'altération différents, par exemple d'échanges cationiques (avec les eaux d'un bassin à salinité élevée ou avec des solutions aqueuses également salines pendant la diagenèse) et d'une stabilisation successive du Na en excès pendant l'albitisation.

#### *Caractères magmatiques primaires*

Lorsqu'on place les compositions chimiques principales des volcanites du Briançonnais ligure sur le diagramme AFM (fig. 7), on peut observer une évolution



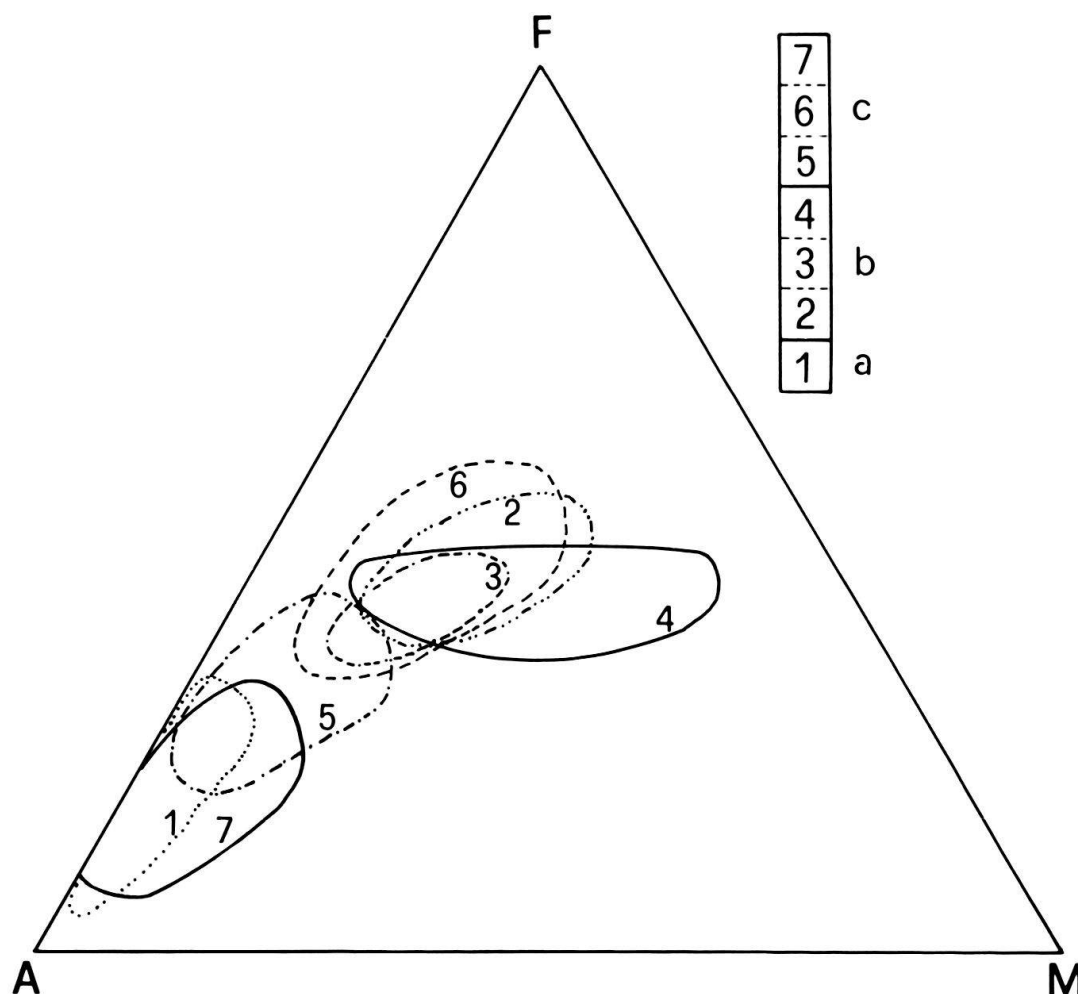


Fig. 7. Diagramme AFM. Pour la signification des différents domaines voir figure 6.

globale de type calco-alcalin classique. Toutefois, les rapports  $\text{FeO}_{\text{tot}}/\text{MgO}$  des termes les moins différenciés (laves andésitiques de la Formation de Eze et dacites appartenant aux lithozones B, C et au Membre de Aimoni) suggèrent la présence plus ou moins contemporaine de deux séries évoluées d'une façon différente.

Les volcanites de l'épisode intermédiaire, des secteurs soit internes que externes, sont caractérisées par des compositions plus fémiques, mais, pour des teneurs en  $\text{SiO}_2$  comparables, par de faibles rapports  $\text{FeO}_{\text{tot}}/\text{MgO}$  (normalement 2 dans les secteurs internes), ce qui suggère une tendance subalcaline typique de séries shoshonitiques (GILL 1981). Cette tendance subalcaline est confirmée par les teneurs élevées en  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  et en Th, U, caractères communs aux rhyolites potassiques appartenant à la lithozone D.

Au contraire, les volcanites fémiques (pour la plupart dacites) appartenant aux Porphyroïdes du Melogno (lithozones B, C, Membre de Aimoni) montrent souvent un enrichissement en fer qui se traduit en rapports  $\text{FeO}_{\text{tot}}/\text{MgO} > 2$ , comme dans le cas des laves calco-alcalines classiques (JAKES & WHITE 1972).

On doit par conséquent envisager la présence de deux séries magmatiques évoluant d'une façon différente: la première calco-alcaline (lithozones A, B, C et Membre de

Aimoni), à partir de dacites généralement fémiques jusqu'à des rhyolites; la deuxième subalkaline à affinité shoshonitique prévalente (Formation de Eze, lithozone D), tandis que les compositions des manifestations précoces semblent confinées au «minimum melt», rapportables à des phénomènes d'anatexie de matériaux crustaux (CORTESOGNO et al. 1984a).

Cette indication semble confirmée par de nombreuses évidences tant pétrographiques que chimiques, représentées en partie dans les diagrammes QAP (fig. 8) et  $R_1R_2$  (fig. 9).

Du point de vue pétrographique la différenciation magmatique des volcanites attribuées à la série calco-alkaline semble contrôlée, au niveau des phases fémiques, surtout par un fractionnement de biotite, avec hornblende subordonnée, tandis que le clinopyroxène est très rare. La présence de xénocristaux de quartz résorbés et de xénolites est très fréquente dans ces volcanites (CORTESOGNO et al. 1984b): on observe des xénolites d'ortho- et de paragneiss ou de quartzites montrant des phénomènes de corrosion, ainsi que du grenat d'origine restitique.

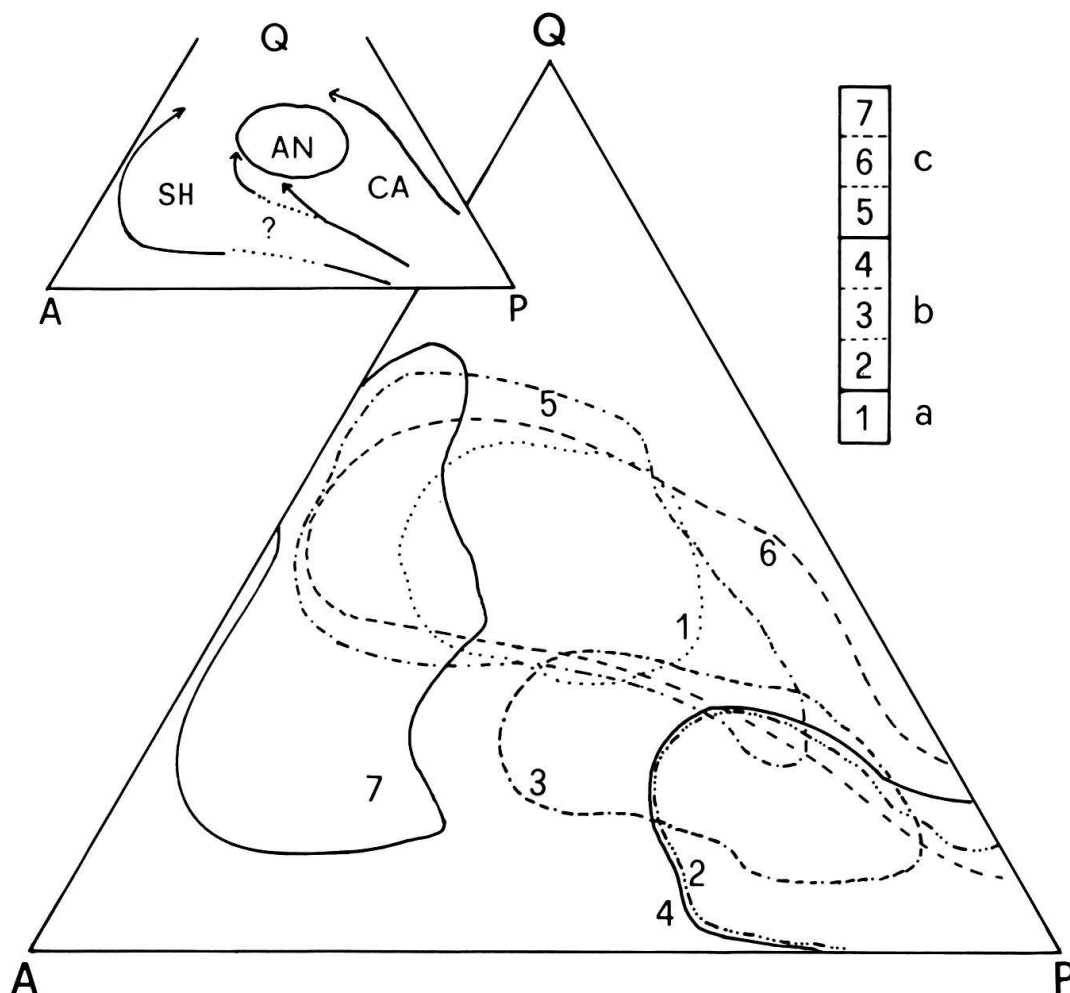


Fig. 8. Diagramme QAP. Pour la signification des différents domaines voir figure 6. Dans la figure petite (*en haut*) on a tracé les lignes d'évolution magmatique correspondant aux processus pétrogénétiques envisagés: AN = domaine des roches d'anatexie; CA = série calco-alkaline de faible à moyenne en K; SH = série subalkaline potassique à affinité shoshonitique.

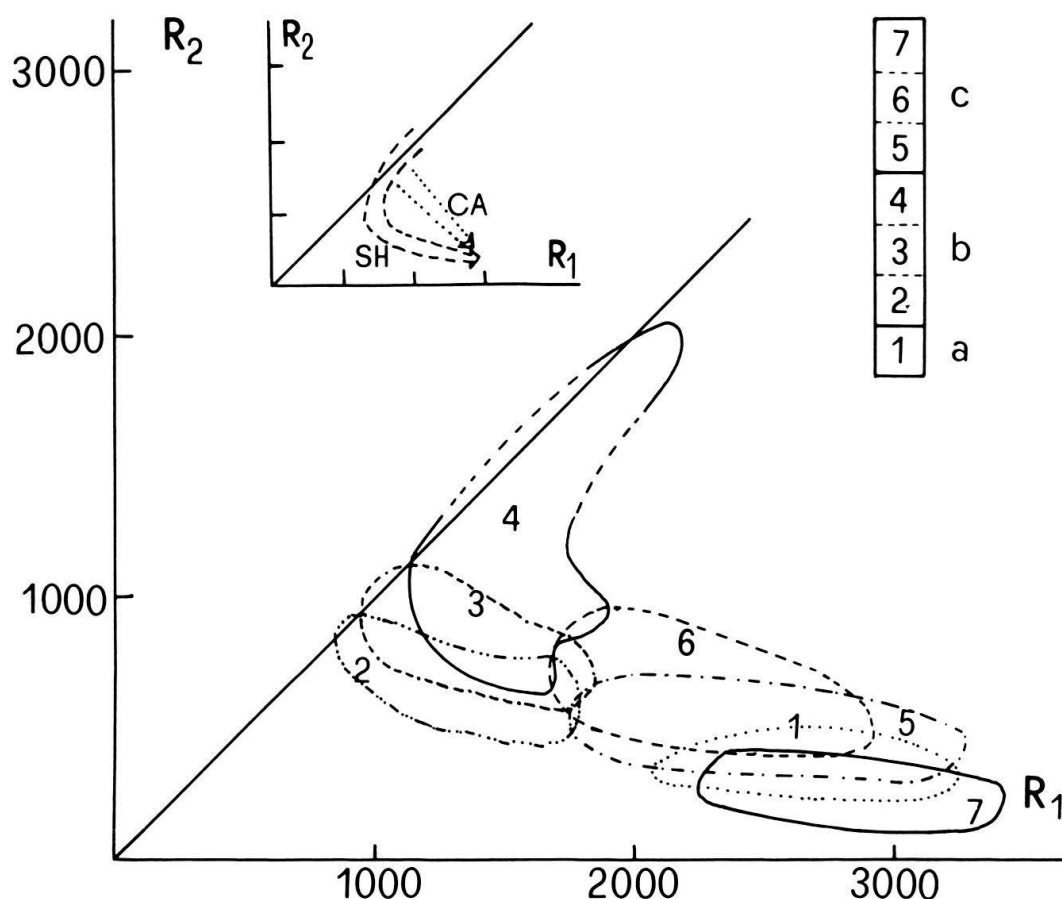


Fig. 9. Diagramme  $R_1R_2$  d'après DE LA ROCHE et al. (1980). Pour la signification des différents domaines voir figure 6.

Dans la figure petite (*en haut*) on a tracé les lignées magmatiques correspondant aux processus pétrogénétiques envisagés: CA = série calco-alcaline; SH = série subalcaline potassique à affinité shoshonitique.

Les différentes évolutions magmatiques sont bien illustrées par le diagramme QAP (fig. 8) où sont indiquées les analyses modales des laves les moins altérées et les compositions normatives des volcanites affectées par des altérations importantes.

Si on admet l'application aussi aux roches effusives des critères de discrimination magmatique des roches plutoniques proposés par LAMEYRE & BOWDEN (1982), on peut voir que les volcanites des manifestations précoces occupent le domaine des roches anatectiques, tandis que les volcanites des Porphyroïdes du Melogno, à l'exclusion de la lithozone D, montrent des évolutions typiques des séries calco-alcalines caractérisées par des teneurs de faibles à moyennes en K. Les volcanites appartenant à l'épisode intermédiaire et à la lithozone D semblent définir une évolution, quoique non continue, à tendance alcaline.

Les mêmes observations peuvent être tirées du diagramme  $R_1R_2$  (DE LA ROCHE et al. 1980). Toutefois, en ce cas, tandis que l'évolution de type shoshonitique à partir de basaltes transitionnels est très évidente pour les volcanites de l'épisode intermédiaire, le caractère calco-alcalin est en partie masqué et moins défini, ce qui doit être attribué à une baisse des valeurs de  $R_2$  dans les produits fémiqes du Membre de Aimoni et des lithozones B, C reflétant la perte de Ca et Mg pendant l'altération.

Lorsqu'on admet la présence plus ou moins contemporaine de volcanites rapportables à deux séries différentes, quels processus pétrogénétiques peut-on envisager?

Compte tenu que les deux lignées magmatiques semblent se développer à partir d'une source commune (basaltes transitionnels issus du manteau dont la présence a été documentée en Vanoise septentrionale par PERUCCIO-PARISON 1984), on peut envisager deux différents processus:

a) évolution des laves fémiques par cristallisation fractionnée dans la croûte profonde sous forte activité de  $H_2O$  (olivine+pyroxène→oxides+amphibole→biotite) avec formation de liquides subalcalins;

b) naissance d'une série calco-alcaline (probablement associée au magmatisme basique) par contamination de laves fémiques avec la croûte ou mélange avec un bain fondu felsique (rhyolites des manifestations précoces?) formé par anatexie de roches crustales. Ce magma hybride aurait pu cristalliser ou évoluer par cristallisation fractionnée (biotite+plagioclase ± hornblende).

Il est intéressant de remarquer que ces processus sont tous les deux connus dans le Stéphanien–Autunien du Sudalpin et des Alpes occidentales: le premier a été montré pour le magmatisme shoshonitique de la zone Dauphinoise (BANZET et al. 1985) et pour les K-andésites de la région de Trento (BARGOSSO et al. 1981), tandis que le deuxième a été prouvé pour les volcanites calco-alcalines de la région de Lugano (Italie du Nord–Suisse) par moyen des évidences isotopiques (STILLE & BULETTI 1987).

Parmi les problèmes qui restent ouverts il y a l'origine des rhyolites terminales (lithozone D). Sont-elles produites par cristallisation fractionnée à partir de termes plus fémiques (quartz-latites) de la lignée subalcaline, ou, à l'encontre de ce que les données stratigraphiques semblent indiquer, sont-elles plus récentes (du Permien supérieur?) et représentent-elles un épisode magmatique nouveau (de type alcalin?), lié à l'intrusion dans la croûte de magmas alcalins issus du manteau (BONIN 1983) au travers de fractures profondes du socle hercynien?

Pour le moment, les données chimiques ne permettent pas le choix d'un modèle pétrogénétique, compte tenu des modifications importantes des distributions primaires des éléments en trace et du système isotopique pendant les processus autométamorphiques sous forte activité de fluides.

### Comparaison à l'échelle de l'Europe occidentale

Les données qui précèdent montrent que, même dans les régions alpines, il paraît possible, au moins localement, de reconstruire une paléogéographie cohérente, qui présente – comme on s'y attendait, mais comme il était difficile de vérifier – beaucoup de points en commun avec celle déjà reconnue pour divers secteurs de l'Europe occidentale tardi-hercynienne, qui, des Pyrénées à la France méridionale, au bloc corso-sarde, à la Toscane, aux Alpes, semblent s'être comportés d'une façon relativement homogène (ARTHAUD & MATTE 1977; BAGNOLI et al. 1980; BIXEL 1984; BONIN 1983; CADEL 1986; CARMIGNANI et al. 1982; CASSINIS 1985; CASSINIS et al. 1976, 1986; CASTELLARIN & VAI 1981; DETRAZ 1984; DURAND DELGA 1978; FABRE & FEYS 1966; FONTANA et al. 1982;

GELMINI 1985; LANTEAUME et al. 1982; LUCAS 1985; MERCIER & BEAUDOIN 1987; ROUSSET 1986; SGAVETTI 1982; TOUTIN-MORIN 1984; VAI et al. 1984; VENTURINI 1983; ZIEGLER 1982).

En effet, pour ce qui concerne le *cadre tectonique*, l'existence de structures tardi-hercyniennes en distension, fréquemment considérées comme produites dans une zone de méga-cisaillement à l'échelle continentale, est bien connue. L'orientation des structures n'est pas toujours constante (même en tenant compte des effets des rotations alpines pour les secteurs où celles-ci sont unanimement admises), ce qui peut avoir plusieurs explications. Les directions principales peuvent être ramenées à la  $N0^\circ (\pm 20^\circ)$ , la  $N90^\circ (\pm 20^\circ)$ , la  $N45^\circ (\pm 15^\circ)$ . La période de fonctionnement des failles couvre l'intervalle entre le Carbonifère supérieur (à partir du Namurien, ou du Westphalien, ou du Stéphanien, suivant les zones et les possibilités de datation) et la fin du Permien inférieur. Dans toutes les zones où la chronologie relative a pu être établie, la direction  $N0^\circ$  est plus ancienne que la  $N90^\circ$ .

Le *cadre volcanique* général confirme aussi nos observations: les volcanites, dont les affleurements se situent le plus souvent à proximité des paléo-failles, sont connues dans tous les secteurs où on les distingue en deux cycles: inférieur, d'âge essentiellement stéphanien et permien inférieur, à caractérisation magmatique calco-alkaline dominante; supérieur, d'âge permien supérieur, alcalin.

Ce dernier (avec la réserve discutée à la fin du chapitre précédent) paraît absent en Ligurie, où, comme on l'a remarqué, les dernières volcanites ont un âge anté-Verrucano et rentrent dans la série calco-alkaline au sens large. Il manquerait aussi, plus en général, dans les Alpes occidentales, en Sardaigne et en Toscane, où les volcanites alcalines localement connues ont des âges compris entre le Trias moyen et le Lias inférieur et pourraient être en relation avec un cadre géodynamique différent.

Par contre, le premier cycle semble comporter à peu près partout les trois épisodes reconnus en Ligurie.

Dans la mesure où on peut s'appuyer sur les datations, toujours difficiles à obtenir et à vérifier dans ces séries tardi-varisques volcaniques et continentales, souvent déformées et métamorphisées à l'alpin, les âges de ces trois épisodes paraissent tomber dans les intervalles indiqués ci-dessous.

Les manifestations précoces sont constituées par des ignimbrites rhyolitiques à dacitiques, calco-alkalines; elles sont connues (BIXEL 1984) dans les Pyrénées, où leur âge est stéphanien, dans l'Esterel (sous forme de galets) et, peut-être, dans les Alpes cottiennes (LEFÈVRE 1982).

L'épisode intermédiaire est représenté essentiellement par des andésites, localement des basaltes. Son âge est variable: encore stéphanien dans les Pyrénées (BIXEL 1984), peut-être autunien dans l'Esterel (CAMPREDON & BOUCARUT 1975), autunien en Corse (DURAND DELGA 1978) et dans le Sudalpin (D'AMICO et al. 1979; BARGOSSO & CALANCHI 1984), stéphanien, ou stéphanien-autunien, ou autunien, d'après les zones et les auteurs, dans les Alpes occidentales (ELLENBERGER 1966; TRÜMPY 1966; FRANCESCHETTI, in MALARODA 1970; LEFÈVRE 1982; CORTESOGNO et al. 1983; DETRAZ 1984; BANZET et al. 1985).

Finalement, les ignimbrites rhyolitiques, qui forment le terme de loin le plus répandu et épais, terminent partout le cycle calco-alkalin et sont presque unanimement datées au Permien inférieur.



Quant au *cadre sédimentaire*, il comporte des formations continentales, fréquemment associées aux produits volcaniques calco-alcalins, accumulées dans des bassins subsidents, bordés par les systèmes de failles déjà mentionnés; le tableau est étonnamment constant des Pyrénées (LUCAS 1985), à la France du SW (DURAND DELGA 1980) et à la Provence (TOUTIN-MORIN 1984), au bloc corso-sarde (GELMINI 1985), à la Toscane (BAGNOLI et al. 1980), aux Alpes occidentales (MERCIER & BEAUDOIN 1987), au Sudalpin (CASSINIS et al. 1986). Les datations (rares dans l'ensemble et souvent confinées, même à l'intérieur d'un seul bassin, à quelques horizons seulement) sont pour l'instant essentiellement fondées sur les flores. Les corrélations chronostratigraphiques, surtout celles entre terrains déposés dans des bassins séparés, doivent donc reposer surtout sur les indications climatiques et tectoniques, c'est-à-dire sur les événements qui ont les plus grandes probabilités d'être, en gros, presque contemporains.

Sous cet aspect, on peut rappeler la distinction, fréquemment adoptée par les auteurs, entre une partie inférieure, souvent plus riche en débris végétaux, attribuée au Carbonifère supérieur, et une partie supérieure, marquée par un climat progressivement plus aride, considérée du Permien.

Les plus anciens dépôts postérieurs à la structuration tectono-métamorphique de la chaîne sont datés au Westphalien supérieur ou au Stéphanien, sauf qu'en Briançonnais classique, où le Namurien est aussi connu. Il est aussi intéressant de remarquer que les niveaux à carbonates lacustres (comparables à notre Membre de Case Pollaio?) sont connus dans beaucoup d'endroits (du Sudalpin, aux Alpes occidentales, à la Sardaigne, à la Provence et, peut-être, aux Pyrénées) et sont toujours attribuées au Permien inférieur.

Les pulsations tectoniques principales, mises en évidence par des discordances ou par des changements dans la géométrie des dépôts, qui vont s'adapter aux nouvelles conditions morphologiques déterminées par la tectonique même, ne sont pas datées avec la même précision dans les différents secteurs. En gros, et très schématiquement, les phases principales paraissent tomber vers la fin du Carbonifère, vers la base du Permien et au début de dépôt du Verrucano ou de ses équivalents, soit, d'après les secteurs et sur la base de datations proposées par les auteurs, entre la fin du Permien inférieur et la partie haute du Permien supérieur.

En conclusion, les liens entre tectonique, volcanisme et sédimentation, du point de vue de l'âge aussi bien que des produits et du milieu, envisagés dans les Alpes ligures, semblent bien s'intégrer dans le tableau général de l'Europe méridionale hercynisée.

Parmi les problèmes qui restent ouverts, tant à l'échelle locale que régionale, il y a ceux concernant la pétrogenèse des volcanites, qui à leur tour entraînent ceux du cadre géodynamique responsable de la production des magmas et de leur mise en place.

Si pour la pétrogenèse la solution que nous avons envisagée (deux magmas, l'un dérivant d'une anatexie crustale, l'autre d'une fusion partielle mantellique, avec phénomènes d'hybridation et/ou de *mixing*) paraît soutenue – comme nous avons essayé de montrer – par plusieurs arguments, le choix du modèle géodynamique mérite d'être abordé par une discussion approfondie, qui sort des limites de cette note synthétique et qui, au surplus, est en cours d'impression ailleurs (CABELLA et al. 1988). Il suffira ici de remarquer que le modèle doit répondre à plusieurs questions, parmi lesquelles: quantités relatives et composition des produits magmatiques dans l'espace et dans le temps; âge(s) de leur production par rapport aux phases tectono-métamorphiques hercynien-



nes; durée de l'intervalle entre fusion et mise en place des magmatites; relations de cause-effet (réelles ou apparentes?) entre systèmes de failles permo-carbonifères et production des magmas et/ou remontée des produits de la fusion.

### Remerciements

Ce travail a été accompli dans le cadre du projet «Modèles palynspastiques et crustaux du système Alpes-Apennins» (Unités de Gênes et de Pavie du «Gruppo Alpi» du C.N.R.), en utilisant en partie les fonds du M.P.I. (40%). Les auteurs remercient le Professeur R. Trümpy pour la lecture critique du manuscrit.

### BIBLIOGRAPHIE

- ARTHAUD, F., & MATTE, P. (1977): Late Paleozoic strike-slip faulting in southern Europe and northern Africa: Results of a right-lateral shear zone between the Appalachians and the Urals. – *Bull. geol. Soc. Amer.* 88, 1305–1320.
- BAGNOLI, G., GIANELLI, G., PUXEDDU, M., RAU, A., SQUARCI, P., & TONGIORGI, M. (1980): A tentative stratigraphic reconstruction of the Tuscan Paleozoic basement. – *Mem. Soc. geol. ital.* 20, 97–114.
- BANZET, G., LAPIERRE, H., LE FORT, P., & PECHER, A. (1985): Le volcanisme carbonifère supérieur du Massif des Grandes Rousses (zone Dauphinoise-Alpes externes françaises): un magmatisme à affinités shoshonitiques lié à la fracturation crustale tardi-varisque. – *Géol. alp. (Grenoble)* 61, 33–60.
- BARGOSSO, G. M., & CALANCHI, N. (1984): Le andesiti di Dosso di Costalta nel settore meridionale del sistema vulcanico atesino (Trentino). – *Miner. petrogr. Acta* 28, 193–213.
- BARGOSSO, G. M., D'AMICO, C., DI BATTISTINI, G., & LANDINI, F. (1981): Le K-andesiti inferiori atesine tra Nogarè e Serso (Trento). – *Rend. Soc. ital. Mineral. Petrol.* 37/2, 719–738.
- BIXEL, F. (1984): Le volcanisme stéphano-permien des Pyrénées. – Thèse Doct. Etat, Univ. Paul Sabatier, Toulouse.
- BIXEL, F., & LUCAS, C. (1983): Magmatisme, tectonique et sédimentation dans les fossés stéphano-permiens des Pyrénées occidentales. – *Rev. géol. dyn. géogr. phys.* 24, 329–342.
- BLOCH, J.-P. (1966): Le Permien du domaine Briançonnais ligure. Essai de chronologie des formations anté-triasiques. In: *Atti del Symposium sul Verrucano* (p. 99–115). – *Soc. tosc. Sci. nat.*
- BONIN, B. (1983): Permian events in Corsica: vanishing variscan orogenesis or new geodynamical history? – *IGCP no 5, Newsl.* 5, 217–219.
- CABELLA, R., CORTESOGNO, L., DALLAGIOVANNA, G., VANNUCCI, R., & VANOSSI, M. (1988): Vulcanismo, sedimentazione e tettonica nel Brianzone ligure esterno durante il Permo-Carbonifero. – *Atti ticin. Sci. Terra, Pavia* 31 (en cours d'impression).
- CADEL, G. (1986): Geology and uranium mineralization of the Collio basin (central southern Alps, Italy). – *Uranium* 2, 215–240.
- CAMPREDON, R., & BOUCARUT, M. (1975): Alpes Maritimes, Maures, Esterel. Guides géol. rég. – Masson & Cie, Paris.
- CARMIGNANI, L., COCOZZA, T., MINZONI, N., PERTUSATI, P., & RICCI, C. A. (1980): È la Corsica il retropaese della catena ercinica della Sardegna? – *Mem. Soc. geol. ital.* 20, 47–55.
- CASSINIS, G. (1985): Il Permiano nel Gruppo dell'Adamello, alla luce delle ricerche sui coevi terreni delle aree contermini. – *Mem. Soc. geol. ital.* 26 (1983), 119–132.
- CASSINIS, G., MONTRASIO, A., POTENZA, R., RAUMER, J. F. VON, SACCHI, R., & ZANFERRARI, A. (1976): Tettonica ercinica nelle Alpi. (Relazione ufficiale.) – *Mem. Soc. geol. ital.* 13 (1974), suppl. I, 289–318.
- CASSINIS, G., GIANOTTI, R., & VANOSSI, M. (1986): Confronti nella successione tardo-ercinica delle Alpi liguri e delle Alpi meridionali. – *Mem. Soc. geol. ital.* 28, 331–352.
- CASTELLARIN, A., & VAI, G. B. (1981): Importance of Hercynian Tectonics within the framework of the Southern Alps. – *J. struct. Geol.* 3/4, 477–486.
- CORTESOGNO, L., & VANNUCCI, R. (1987): Permian volcanism in the Ligurian Briançonnais (Maritime Alps). – *IGCP no 5, Newsl.* (en cours d'impression).

- CORTESOGNO, L., GIANOTTI, R., ODDONE, M., VANNUCCI, R., & VANOSSI, M. (1984a): Contributo alla conoscenza delle metavulcaniti tardo-erciniche del Brianzonese ligure (Alpi Marittime): I «Porfidi» di Osglia ed i clasti di vulcaniti nella Formazione di Ollano. – *Rend. Soc. ital. Mineral. Petrol.* 39, 585–592.
- CORTESOGNO, L., GIANOTTI, R., OXILIA, M., VANNUCCI, R., & VANOSSI, M. (1982): Genesi ed evoluzione dello zoccolo pre-mesozoico in alcuni settori del Brianzonese ligure interno. – *Rend. Soc. ital. Mineral. Petrol.* 38, 219–260.
- CORTESOGNO, L., GIANOTTI, R., VANNUCCI, R., & VANOSSI, M. (1984b): Le volcanisme permo-carbonifère du Briançonnais ligure (Alpes Maritimes) dans le cadre des phases tardives de l'orogénèse hercynienne. – *Sci. géol. [Bull.]* 37, 37–50.
- CORTESOGNO, L., ODDONE, M., OXILIA, M., VANNUCCI, R., & VANOSSI, M. (1983): Le metavulcaniti a chimismo andesitico del Permo-Carbonifero brianzonese (Alpi Marittime): caratterizzazione petrografica e chimica e tentativo di interpretazione geodinamica. – *Rend. Soc. ital. Mineral. Petrol.* 38, 581–606.
- DALLAGIOVANNA, G. (1988): Testimonianze e significato di una trasgressione permo-triassica sul basamento cristallino del Brianzonese ligure interno. – *Boll. Soc. geol. ital. (sous presse)*.
- D'AMICO, C., et coll. (1979): General picture of Hercynian magmatism in the Alps, Calabria–Peloritani and Sardinia–Corsica. – *Newsl. Inst. Mineral. Petrol. Univ. Padova (Italy)* 1, 33–68.
- DETRAZ, G. (1984): Etude géologique du bord interne de la zone houillère briançonnaise entre la vallée de l'Arc et le massif de Peclet-Polset (Alpes de Savoie). – Thèse 3e cycle, Univ. Grenoble.
- DURAND DELGA, M. (1980): La chaîne des Pyrénées et son avant-pays aquitain-languedocien. In: *Géologie des pays européens: France, Belgique, Luxembourg* (p. 179–261). – Dunod, Paris.
- DURAND DELGA, M., et coll. (1978): Corse. Guides géol. rég. – Masson & Cie, Paris.
- ELLENBERGER, F. (1966): Le Permien du pays de Vanoise. In: *Atti del Symposium sul Verrucano* (p. 170–211). – Soc. tosc. Sci. nat.
- FABRE, G., & FEYS, R. (1966): Les séries bariolées du massif de Rochachille, leurs rapports avec le «Verrucano» de Briançon et les «Permiens» de Maurienne et de Tarantaise. In: *Atti del Symposium sul Verrucano* (p. 143–169). – Soc. tosc. Sci. nat.
- FONTANA, G., GELMINI, R., & LOMBARDI, G. (1982): Le successioni sedimentarie e vulcaniche carbonifere e permo-triassiche della Sardegna. In: *Guida alla Geologia del Paleozoico sardo* (p. 183–192). – Guide geol. reg. Soc. geol. ital.
- GELMINI, R. (1985): A palaeogeographical reconstruction of the permo-triassic circum-thyrrhenian area. – *Boll. Soc. geol. ital.* 104, 561–574.
- GILL, J. B. (1981): *Orogenic Andesites and Plate Tectonics. Minerals and Rocks.* – Springer, Berlin, Heidelberg, New York.
- IRVINE, T. H., & BARAGAR, W. R. H. (1971): A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. – *Canad. J. Earth Sci.* 8, 523–548.
- JAKES, P., & WHITE, J. R. (1972): Major and trace element abundances in volcanic rocks of orogenic areas. – *Bull. geol. Soc. Amer.* 83, 29–40.
- LAMEYRE, J., & BOWDEN, P. (1982): Plutonic rock types series: discrimination of various granitoid series and related rocks. – *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 14, 169–186.
- LANTEAUME, M., GIGOT, P., & CAMPREDON, R. (1982): Apports et limites de l'interprétation linéamentaire dans le domaine des Alpes Occidentales méridionales. – *Bull. Soc. géol. France* 24, 49–62.
- LA ROCHE, H. DE (1968): Comportement 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. Sci. Paris (D)* 267, 39–42.
- LA ROCHE, H. DE, LETERRIER, J., GRANCLAUDE, P., & MARCHAL, M. (1980): A classification of volcanic and plutonic rocks using R1R2-diagram and major-element analyses. – *Chem. Geol.* 29, 183–210.
- LEFÈVRE, R. (1982): Les nappes briançonnaises internes et ultra-briançonnaises dans les Alpes Cottiennes méridionales. – Thèse Doct. Etat, Univ. Paris Sud-Centre Orsay.
- LUCAS, C. (1985): Le grès rouge du versant Nord des Pyrénées. Essai sur la géodynamique de dépôts continentaux du Permien et du Trias. – Thèse Doct. Etat, Univ. Paul Sabatier, Toulouse.
- MALARODA, R. (1970): Carta geologica del Massiccio dell'Argentera (1:50000) e Note illustrative. – *Mem. Soc. geol. ital.* 9, 557–663.
- MERCIER, D., & BEAUDOIN, B. (1987): Révision du Carbonifère briançonnais: stratigraphie et évolution du bassin. – *Géol. alp. (Grenoble)* 63.
- PECCERILLO, A., & TAYLOR, S. R. (1976): Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kosta-monu area. – *Contr. Mineral. Petrol.* 69, 33–47.

- PERUCCIO-PARISON, M.-D. (1984): Problèmes pétrochimiques et structuraux en Vanoise septentrionale (Savoie). – Thèse 3e Cycle Univ. Paris-Sud.
- ROUSSET, C. (1986): Le cadre linéamentaire du sud-est de la France, à partir d'observations nouvelles sur son rôle dans la sédimentation tardi et post-hercynienne. – *Bull. Soc. géol. France* (8), 2, 487–497.
- SGAVETTI, M. (1982): Analisi preliminare degli elementi morfostrutturali lineari della Sardegna. In: Guida alla geologia del Paleozoico sardo (p. 37–54). – Guide geol. reg. Soc. geol. ital.
- STILLE, P., & BULETTI, M. (1987): Nd–Sr isotopic characteristics of the Lugano volcanic rocks and constraints on the continental crust formation in the South Alpine domain (N-Italy, Switzerland). – *Contr. Mineral. Petrol.* 96, 140–150.
- TOUTIN-MORIN, N. (1984): Bassin du Var. In: Synthèse géologique du Sud-Est de la France. – *Mém. Bur. Rech. géol. min.* 125, 50.
- TRÜMPY, R. (1966): Considérations générales sur le «Verrucano» des Alpes suisses. In: Atti del Symposium sul Verrucano (p. 212–232). – Soc. tosc. Sci. nat.
- VAI, G. B., BORIANI, A., RIVALENTI, G., & SASSI, F. P. (1984): Catena Ercinica e Paleozoico nelle Alpi Meridionali. In: Cento anni di geologia italiana (p. 133–154). – Vol. giub. I Centenario SGI, Bologna.
- VANOSI, M. (1970): Il Carbonifero di Viozene (Alpi Marittime). – *Atti Ist. geol. Univ. Pavia* 21, 67–74.
- VANOSI, M., CORTESOGNO, L., GALBIATI, B., MESSIGA, B., PICCARDO, G., & VANNUCCI, R. (1986): Geologia delle Alpi liguri: dati, problemi, ipotesi. – *Mem. Soc. geol. ital.* 28, 5–75.
- VENTURINI, C. (1983): Il bacino tardo-ercinico di Pramollo (Alpi carniche): una evoluzione regolata dalla tettonica sinsedimentaria. – *Mem. Soc. geol. ital.* 24, 23–42.
- ZIEGLER, P. A. (1982): Geological Atlas of western and central Europe. – Shell Int. Petrol. Maat. B.V., 2 vol., distrib. Elsevier, Amsterdam.

Manuscrit reçu le 1er décembre 1987

Révision acceptée le 25 avril 1988