

La zone d'Acceglio (Alpes cottiennes) : un nouvel exemple de croûte continentale éclogitisée dans les Alpes occidentales

Stéphane Schwartz^{a*}, Jean-Marc Lardeaux^a, Pierre Tricart^b

^a Laboratoire de dynamique de la lithosphère, CNRS-UMR 5570, université Claude-Bernard et École normale supérieure de Lyon, 27, bd du 11-Novembre-1918, 69622 Villeurbanne, France

^b Université Joseph-Fourier, CNRS-UMR 5025, Maison des géosciences, BP 53, 38041 Grenoble, France

Reçu le 17 avril 2000 ; accepté le 9 mai 2000

Présenté par Jean Dercourt

Abstract – The Acceglio zone (Cottian Alps): a new example of eclogitized continental crust in the western Alps. Petrological study on andesitic schists sampled in the Acceglio zone, allows, for the first time, the Alpine *P–T* path of this metamorphosed continental unit to be quantified. Three successive metamorphic stages are distinguished, the first one under eclogite facies conditions, with a pressure of 13.5 ± 1.5 kbar and a temperature of 450 ± 25 °C. A second stage, characterized by a moderate temperature increase at the beginning of the decompression, corresponds to a reequilibration near the boundary between blueschist and eclogite facies conditions. The third stage, characterized by the costability of lawsonite and albite, documents a reequilibration at the boundary between blueschist and greenschist facies conditions. These new data confirm the heterogeneity of the metamorphic conditions observed in the Piemonte zone of the western Alps. They are in agreement with structural data and allow us to interpret the Acceglio domain as a tectonic extrusion of eclogitized continental crust within the less metamorphic calcschists of the Piemonte zone. © 2000 Académie des sciences / Éditions scientifiques et médicales Elsevier SAS

western Alps / Acceglio zone / continental unit / eclogite facies / tectonic extrusion

Résumé – L'étude pétrologique des schistes andésitiques permiers de la terminaison nord de la zone d'Acceglio permettent, pour la première fois, de contraindre le trajet pression-température de cette unité continentale alpine. Trois stades métamorphiques sont enregistrés successivement, avec (1) des conditions éclogitiques, avec une pression de $13,5 \pm 1,5$ kbar et une température de 450 ± 25 °C, (2) une augmentation modérée de la température en début de décompression, avec rééquilibrage dans des conditions proches de la transition entre faciès éclogités et schistes bleus, (3) la costabilité de la lawsonite et de l'albite, indiquant un rééquilibrage à la limite des conditions entre les faciès schistes bleus–schistes verts. Ces données sont une nouvelle illustration de l'hétérogénéité des conditions métamorphiques au sein de l'arc interne des Alpes occidentales et confortent les données structurales qui conduisent à interpréter la zone d'Acceglio comme une écaïlle tectonique de croûte continentale éclogitisée extrudée, au sein des Schistes lustrés piémontais, moins métamorphiques. © 2000 Académie des sciences / Éditions scientifiques et médicales Elsevier SAS

Alpes occidentales / zone d'Acceglio / unité continentale / faciès éclogitite / extrusion tectonique

* Correspondance et tirés à part : schwartz@univ-lyon1.fr

Abridged version

1. Introduction

The Alpine belt results from the collision between European and Apulian lithospheres following the closure of the Ligurian-Piemont ocean by subduction. The latter is responsible for the development of eclogite facies metamorphism in tectonic units of both oceanic and continental origins. Eclogitized continental units [3, 4, 6, 15, 16] are located in the innermost zones of the orogenic domain. Our goal is to establish the occurrence of a new example of eclogitized continental crust, the Acceglio massif, in a more external position.

2. Geological context

In the southwestern Alps, the Acceglio zone (*figure 1*) outcrops in the external Piemont zone as a half tectonic window surrounded by blueschist facies metasediments (*Schistes lustrés*, *figure 2*). It consists of a continental basement including meta-volcanoclastic rocks (andesitic schists) overlain by a Mesozoic to Tertiary sedimentary cover with 'Briançonnais' affinities [7, 8, 18–20]. In spite of the description of jadeite or chloritoid / carpholite-bearing assemblages [9, 20], there is still no precise P - T estimate for the Alpine metamorphism in the Acceglio massif [1, 2, 13]. In this paper, we present a petrological study of the andesitic schists from the northern part of Acceglio zone (col du Longet).

3. The paragenetic evolution and mineral chemistry

Our study is focused on the andesitic schists in which a main foliation plane is underlined by phengites, epidotes, blue amphiboles and recrystallized quartz layers. Numerous garnets and clinopyroxenes occur as fragmented porphyroclasts wrapped by the main foliation. The garnets represent a solid solution between almandine ($X_{alm} = 51.67$ – 64.88), pyrope ($X_{prp} = 5.66$ – 21.75), grossular ($X_{grs} = 23.52$ – 35.84) and spessartine ($X_{sps} = 0.82$ – 2.10) components (*figure 2A*) and they are frequently zoned (*figure 2B*). The clinopyroxenes have a jadeitic composition (*figure 2C*) and they are mostly replaced by aggregates of white micas, epidote and albite. The glaucophanes (*figure 2D*) occur as elongated syn-kinematic minerals and are sometimes pseudomorphosed by actinolite + chlorite \pm albite associations. Several generations of phengites need to be distinguished. Phengites 1 ($Si^{4+} > 3.50$) occur as inclusions within the garnets, while phengites 2 ($Si^{4+} = 3.35$ – 3.50) underline the foliation plane. Phengites 3 with a Si^{4+} content of 3.20–3.35 correspond to the development of porphyroblasts overgrowing the main foliation plane. Zoisites (or clinozoisites), and paragonites are observed, in the foliation, together with the syn-kinematic phengites 2. Numerous rutile grains are stretched in the foliation and often replaced by two successive rims of

ilmenite and titanite. Late crystallization of porphyroblasts of albite and lawsonite are frequently observed. The lawsonites occur as isolated, well-shaped, prisms superimposed on micas and epidote rich aggregates. In some thin sections, the lawsonites have a poikiloblastic texture overgrowing the previous fabric.

The previous microstructural observations allow three main metamorphic assemblages to be distinguished as follows (*figure 3*):

- the assemblage I: garnet + jadeite + phengite 1 + quartz + rutile \pm glaucophane \pm zoisite;
- the syn-kinematic assemblage II: glaucophane + phengite 2 + quartz + zoisite + albite + ilmenite \pm garnet;
- the late assemblage III: albite + lawsonite + actinolite + chlorite + phengite 3 \pm titanite \pm calcite \pm stilpnomelane.

4. P - T estimates

In order to quantify the P - T path of the studied rocks we combined three kinds of constraints: the stability fields of the main phases, the Fe–Mg exchange thermometry between garnet and phengite using the calibration of Krogh and Raheim [14] and the Thermocalc software [12, 23]. Comparison of P - T estimates made using different methods are presented in the *table*.

– Stage I (*figure 4*). The costability of zoisite and glaucophane suggests a temperature range between 400 and 550 °C [10, 21]. The garnet-phengite 1 thermometer yields a temperature of 450 ± 20 °C for a pressure of 13 kbar, while with the Thermocalc software, a temperature of 455 ± 20 °C is calculated at 12 kbar. A minimal pressure of 12 kbar is suggested by the occurrence of the jadeite + quartz association [11] and the development of phengite with Si^{4+} content of 3.50–3.60 [22]. A consistent P - T range of 12–15 kbar for 450 ± 25 °C is therefore proposed for the oldest metamorphic association. These conditions are typical for eclogite facies metamorphism and are consistent with the occurrence of jadeite + quartz + garnet + phengites associations described in meta-rhyolites or meta-granites from the Acceglio zone.

– Stage II (*figure 4*). The application of the previously described petrological constraints the assemblage II, yields to a P - T range of 9.5 ± 1.5 kbar and 465 ± 25 °C, thus at the boundary between eclogite and blueschist facies conditions.

– Stage III (*figure 4*). The association lawsonite + albite + phengite 3 with a Si^{4+} content of 3.20–3.35, is consistent with a temperature lower than 400 °C for a pressure between 4 and 7 kbar, therefore at the boundary between blueschist and greenschist facies conditions. The latter is definitely achieved by the final crystallization of chlorite + albite + actinolite + calcite + titanite.

5. Discussion and conclusions

Eclogite facies metamorphism is, for the first time, clearly documented in the Acceglio zone. A P - T path is

proposed, characterized by a moderate temperature increase at the beginning of the decompression followed by a strong cooling under greenschist facies conditions. In this example, lawsonite is a post-kinematic mineral developed at the transition between blueschist and greenschist facies conditions.

These new petrological constraints underline the heterogeneity of the Alpine metamorphism in the Piemont zone of the western Alps. Indeed the eclogite facies

metamorphism of the northern part of Acceglio zone is clearly different with respect to the blueschist facies metamorphism developed in the *Schistes lustrés* (figure 5). There, data are consistent with recent structural investigations [2] and allow us to interpret the Acceglio zone as a slice of eclogitized continental crust tectonically extruded within the surrounding blueschist facies meta-sediments of the Piemont zone.

1. Introduction

La chaîne Alpine résulte de la collision entre les lithosphères européenne et apulienne qui suit la fermeture, par subduction, de l'océan Liguro-Piémontais. Cette subduction précoce implique la croûte océanique, mais également des fragments de croûte continentale. En conséquence, les Alpes occidentales sont caractérisées par la présence de massifs de croûte continentale éclogeïsées [3, 4, 6, 15, 16], qui sont jusqu'à présent reconnus dans les zones les plus internes de la chaîne (Austro-Alpin ou Piémontais interne). L'objectif de cette publication est de démontrer l'existence de croûte continentale éclogeïsée en position plus externe, dans la zone d'Acceglio.

2. Contexte géologique

La zone d'Acceglio se localise dans la partie sud des Alpes occidentales (figure 1) et correspond à un empilement d'écaillés monoclinales, penté vers l'ouest d'une trentaine de degrés. Ce massif affleure au cœur des Schistes lustrés piémontais par l'intermédiaire d'une demi-fenêtre d'allongement nord-sud (figure 2). Les écaillés sont constituées par des roches volcano-détritiques permienues correspondant à la superposition de niveaux acides (méta-rhyolites) et basiques (méta-andésites et méta-basaltes ou « prasinites ») ainsi que leurs produits détritiques dérivés (schistes andésitiques), sur lesquelles repose une couverture Mésozoïque à Tertiaire non décollée, d'affinité Briançonnaise [7, 8, 18–20]. L'ensemble de la zone est affecté par un métamorphisme alpin, avec la présence de jadéite dans la partie est du massif [20] et l'existence d'assemblages à chloritoïde/carpholite dans la partie sud-ouest [9]. Cependant, l'évolution métamorphique de ce massif n'a fait l'objet d'aucune quantification thermobarométrique précise. En effet, les seules estimations publiées sont basées sur les champs de stabilité des phases minéralogiques présentes [1, 2, 13], qui permettent de proposer des conditions de 10–12 kbar pour des températures de 400–450 °C, symptomatiques des conditions du faciès des schistes bleus.

Nous présentons, dans cette publication, une étude pétrologique sur des schistes andésitiques provenant de la terminaison nord de la bande d'Acceglio (col du Longet) (figure 1), ainsi qu'une quantification du trajet pression-température de cette unité alpine.

3. Analyse des paragenèses et chimie des minéraux

Les schistes andésitiques montrent une foliation majeure soulignée par des phengites et des épidotes qui moulent des porphyroclastes de grenat et de clinopyroxène. Parfois la foliation est également marquée par des amphiboles bleues, qui deviennent localement abondantes pour constituer alors l'essentiel de la matrice. On observe également :

- de nombreux porphyroclastes de quartz, qui montrent des extinctions roulantes et de nombreux sous-grains ;
- des grenats, de forme arrondie, n'excédant pas 0,1 mm de diamètre, qui sont emballés dans la foliation ; ils présentent de nombreuses inclusions de quartz et de phengites et sont déstabilisés sur leurs bordures en micas blancs ; les grenats correspondent à une solution solide d'almandin ($X_{Alm} = 51,67\text{--}64,88$), de pyrope ($X_{Prp} = 5,66\text{--}21,75$), de grossulaire ($X_{Grs} = 23,52\text{--}35,84$) et de spessartine ($X_{Sps} = 0,82\text{--}2,10$) (figure 2A) ; ils montrent une zonation chimique, qui s'exprime par une diminution de la teneur en Fe, Mn et Ca, du cœur vers la bordure, corrélée à l'augmentation du Mg (figure 2B) ; ces variations sont caractéristiques d'une zonation de croissance du minéral [24] ; comparativement, les augmentations conjointes de la teneur en grossulaire et pyrope en bordure du minéral sont interprétées comme des zonations de diffusion ;
- de la jadéite ($X_{Jd} > 83\%$) (figure 2C), qui s'observe sous la forme de porphyroclastes moulés dans la foliation et fortement déstabilisés en agrégats à micas blancs, épidote et albite, où seul le cœur du minéral est préservé ;
- des amphiboles bleues, qui correspondent, selon la nomenclature de Leake [17], à des glaucophanes (figure 2D) ; elles se présentent le plus souvent sous la forme de baguettes syn-foliales, fréquemment microboudinées, avec développement de chlorite et d'actinote entre les boudins (figure 2D) ;
- des phengites, qui montrent des teneurs en silicium tétraédrique qui s'échelonnent de 3,20 à 3,59 ; les phengites les moins substituées (3,20–3,35) sont post-foliales et sont localisées, soit en grandes plages dans la matrice et alors associées à de la chlorite, soit en bordure des grenats sous la forme de petits feuillets inframillimétri-

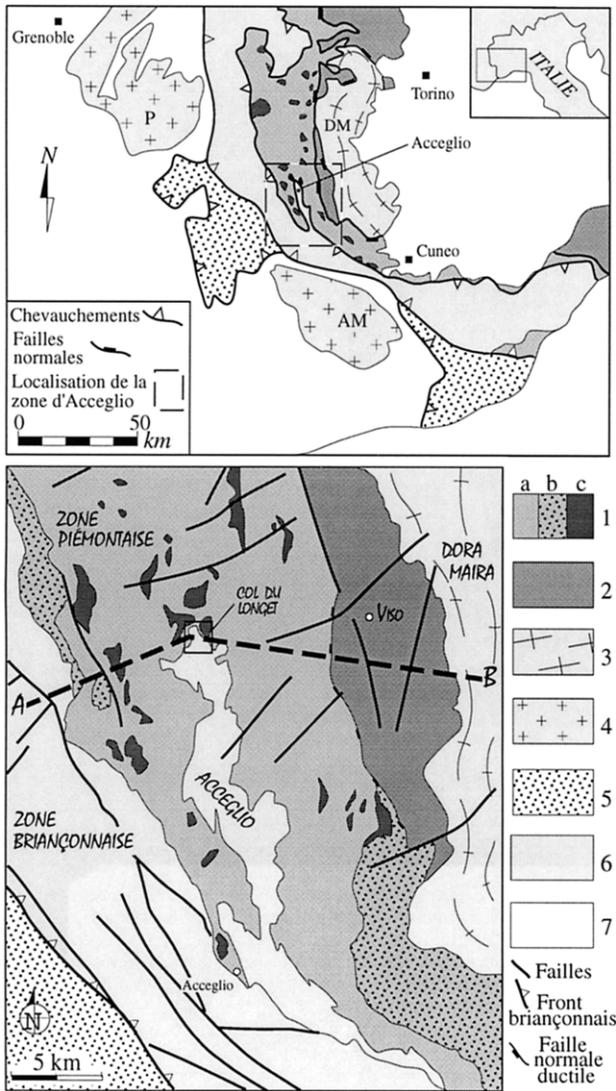


Figure 1. Localisation de la zone d'étude dans les Alpes occidentales. **1.** Zone piémontaise en faciès schistes bleus : **a**, calcschistes ; **b**, Piémontais de marge ; **c**, ophiolites. **2.** Zone piémontaise éclogitique. **3.** Massifs cristallins internes (DM = Dora Maira). **4.** Massifs cristallins externes (P = Pelvoux, AM = Argentera–Mercantour). **5.** Flyschs à helminthoïdes. **6.** Unités Briançonnaises. **7.** Zone dauphinoise et sédiments tertiaires de la plaine du Pô. Le tracé A–B correspond à la coupe présentée sur la figure 5.

Figure 1. The studied area in the western Alps. **1.** Blueschist Piemonte zone: **a**, calcschists, **b**, ophiolites. **2.** Eclogitic Piemonte zone. **3.** Internal crystalline massif (DM = Dora Maira). **4.** External crystalline massifs (P = Pelvoux; AM = Argentera–Mercantour). **5.** Helminthoid flysch nappes. **6.** Briançonnais zone. **7.** Tertiary Po plain sediments and Dauphinois zone. A–B transect corresponds to the cross-section presented in figure 5.

ques ; la majorité des phengites syn-foliales analysées présentent des teneurs en Si^{4+} entre 3,35 et 3,50 (phengite 2), avec, cependant, localement existence de teneurs plus élevées ($\text{Si}^{4+} > 3,50$) ; les phengites les plus précoces (phengite 1) sont observées en inclusion dans les grenats et présentent les teneurs en Si^{4+} les plus élevées, supérieures à 3,55 ;

- des épidotes, qui sont, soit des zoïsites, soit des clinozoïsites, et qui sont localisées dans la foliation en cristaux sub-automorphes et associées à la phengite syn-foliale (phengite 2) ;
- des paragonites associées, dans les niveaux riches en quartz, à la zoïsite ;
- du rutile, qui se présente sous la forme d'amas pluricristallins étirés dans la foliation, auréolés d'une double couronne à ilménite, puis sphène.

Par rapport à la foliation principale, de nombreux minéraux post-cinématiques cristallisent, tels que des ocelles d'albite, des plages de chlorite, des fibres d'actinote, des baguettes de stilpnomélane et des cristaux isolés de sphène et de calcite. Ces minéraux sont associés à des prismes de lawsonite formant des cristaux sub-automorphes caractéristiques. Ces lawsonites sont généralement isolées et superposées à la foliation principale, leur conférant un caractère tardif indiscutable. Elles se développent le plus souvent au détriment de l'épidote (zoïsite et/ou clinozoïsite). Certaines de ces lawsonites sont poecilites et associées également à la déstabilisation tardive du grenat.

Ces différents critères texturaux nous conduisent à distinguer trois types d'associations minéralogiques (figure 3) typiques des stades métamorphiques suivants :

- le **stade I**, anté-cinématique, correspond à l'association relictuelle à grenat, jadéite, phengite 1, quartz, rutile, \pm glaucophane et \pm zoïsite ;
- le **stade II**, syn-cinématique, est défini par l'assemblage minéralogique syn-folial à glaucophane, phengite 2, quartz, zoïsite, \pm grenat, \pm albite et ilménite ;
- le **stade III**, tardif, correspond à une paragenèse rétro-morphique à lawsonite, albite, actinote, chlorite, phengite 3, \pm sphène, \pm stilpnomélane et \pm calcite.

4. Estimations thermobarométriques

Afin de quantifier les conditions physiques (P , T) des trois stades métamorphiques, nous avons combiné différentes méthodes, qui sont :

- (1) les domaines de stabilité des principales phases minérales ;
- (2) la thermobarométrie conventionnelle basée sur les échanges Fe–Mg entre le grenat et la phengite, en utilisant la calibration de Krogh et Raheim [14] ;
- (3) le logiciel de calcul Thermocalc [12, 23].

La compilation des résultats thermobarométriques est présentée dans le *tableau*.

Le stade I (figure 4), se caractérise par la présence de zoïsite et l'absence de lawsonite, impliquant une localisation du côté des hautes températures de la droite de réaction $\text{Lws} + \text{Jd} = \text{Pg} + \text{Qtz} + \text{H}_2\text{O}$ étudiée par Heinrich et Althaus [10]. De plus, la présence de glaucophane suggère une température inférieure à 550 °C.

L'utilisation du thermomètre grenat–phengite [14] permet, en couplant les analyses provenant des cœurs des

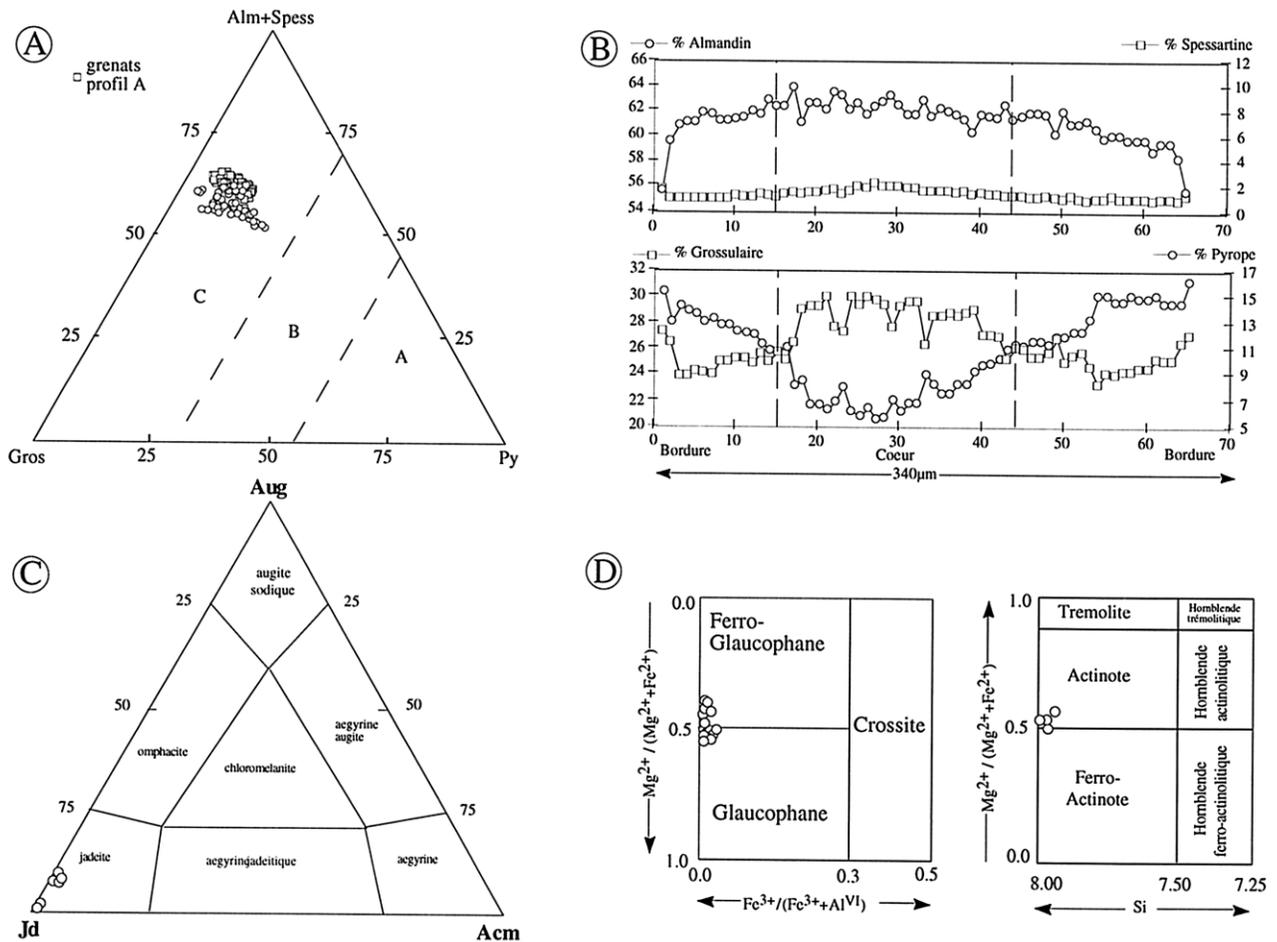


Figure 2. Chimie des minéraux métamorphiques. **A** : grenats (subdivision en groupes A, B, C des éclogites d’après [5]). **B** : profils de zonation chimique d’un grenat. **C** : amphiboles sodiques [17]. **D** : amphiboles calco-sodiques [17].

Figure 2. Chemistry of metamorphic minerals. **A** : garnet (A, B and C groups after [5]). **B** : chemical zonation profiles of garnet (see text for interpretation). **C** : alkali amphiboles [17]. **D** : calco-sodic amphiboles [17].

	Stade I	Stade II	Stade III
Quartz	—	—	—
Jadéite	—	—	—
Rutile	—	—	—
Grenat	—	—	—
Phengite	>3.55	3.50-3.35	3.35-3.20
Zoisite	—	—	—
Paragonite	—	—	—
Glaucophane	—	—	—
Illménite	—	—	—
Albite	—	—	—
Lawsonite	—	—	—
Actinote	—	—	—
Chlorite	—	—	—
Sphène	—	—	—
Stilpnomélane	—	—	—
Calcite	—	—	—

Figure 3. Les différents assemblages minéralogiques observés dans les schistes andésitiques.

Figure 3. The different mineral associations observed in andesitic schists.

grenats et celles des phengites les plus substituées (teneur en $Si^{4+} > 3,55$), d’obtenir une température de $450 \pm 20 \text{ }^\circ\text{C}$, pour une pression fixée à 13 kbar. Enfin, les estimations de la température obtenues avec le logiciel de calcul Thermocalc (tableau), à partir des mêmes assemblages, sont de $455 \pm 20 \text{ }^\circ\text{C}$ à 12 kbar.

La présence de la jadéite stable avec le quartz impose que l’on se situe du côté des hautes pressions de la réaction $Jd + Qtz = Ab$ [11], fixant une pression minimale supérieure à 12 kbar. Cette estimation en pression est confirmée si on prend en compte le taux en Si^{4+} des phengites précoces, qui est de 3,50 à 3,60, ce qui impose une pression minimale de 11 kbar [22] pour une température de $450 \text{ }^\circ\text{C}$.

Les estimations des conditions $P-T$ par utilisation combinée des différentes méthodes conduisent à une gamme de pression de 12 à 15 kbar pour des températures de $450 \pm 25 \text{ }^\circ\text{C}$, c’est-à-dire dans les conditions du faciès des éclogites (figure 4).

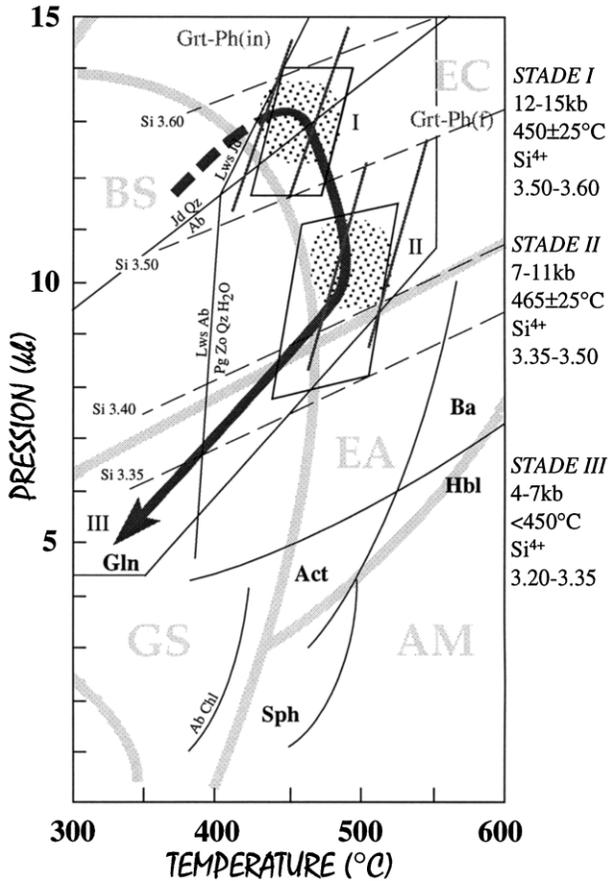


Figure 4. Trajet *P-T* des schistes andésitiques de la zone d’Acceglio. La zone en pointillé représente l’intervalle *P-T* estimé par les différentes méthodes. Les boîtes représentent les estimations obtenues par Thermocalc. Thermométrie grenat–phengite avec Ph(in): phengite en inclusion et Ph(f): phengite syn-foliale. Les faciès métamorphiques sont indiqués avec **GS**: schistes verts, **BS**: schistes bleus, **EC**: éclogite, **EA**: amphibolite à épidote, **AM**: amphibolite. **Figure 4.** *P-T* path for andesitic schists from the Acceglio zone. The dotted area represents the *P-T* estimates for the different metamorphic stages. The boxes represent the estimates obtained using Thermocalc. Garnet–phengite thermometry with Ph(in): phengite in inclusion and Ph(f): syn-kinematic phengite. Metamorphic facies are indicated with **GS**: greenschist, **BS**: blueschist, **EC**: eclogite, **EA**: epidote amphibolite, **AM**: amphibolite.

Le stade II (figure 4), contemporain de la foliation principale, est contraint par l’absence de lawsonite, qui nécessite des températures supérieures à 400 °C, mais aussi par la stabilité de la glaucophane [21], qui demande alors des températures inférieures à 550 °C durant la décompression.

L’utilisation du thermomètre grenat–phengite [14] sur des phengites syn-foliales (Si^{4+} entre 3,41 et 3,48) (phengite 2) et les bordures des grenats donne une température de 480 ± 20 °C pour une pression de 9 kbar.

L’évaluation de la gamme de température à partir du logiciel de calcul Thermocalc sur la paragenèse rétro-morphique conduit à un intervalle de température de 470 ± 30 °C pour une pression fixée à 9 kbar, ce qui est

compatible avec les estimations fournies par les autres méthodes (tableau). La combinaison de toutes les estimations conduit donc à une température de 465 ± 25 °C pour le stade II (figure 4).

Une pression minimale de 8 kbar à 450 °C peut être fixée par l’intermédiaire des teneurs en Si^{4+} des phengites (phengite 2) syn-foliales ($Si^{4+} > 3,40$). Cette pression est compatible avec la pression calculée par Thermocalc, qui est de $9,0 \pm 1,5$ kbar pour une température fixée à 480 °C (tableau).

Ainsi l’estimation moyenne des conditions *P-T* pour le stade II est de $9,5 \pm 1,5$ kbar pour 465 ± 25 °C, à la limite entre les faciès des schistes bleus à épidote et des éclogites (figure 4).

Le stade III (figure 4), est marqué par le développement tardif de la paragenèse à lawsonite + albite (\pm glaucophane). La gamme de pression est donnée par le taux en Si^{4+} des phengites, qui est compris entre 3,20 et 3,35, ce qui fixe un intervalle de 4 à 7 kbar pour une température faible, inférieure à 450 °C (stabilité de la glaucophane [21]). Ces conditions correspondent à la transition du faciès des schistes bleus et le faciès des schistes verts, ce dernier étant caractérisé par l’association de chlorite, albite, actinote, sphène et calcite (figure 3).

5. Discussion et conclusions

Les nouvelles données permettent de quantifier, pour la première fois précisément (tableau), les conditions du métamorphisme alpin dans la zone d’Acceglio. Par rapport aux descriptions antérieures, trois éléments sont à retenir :

- 1) le pic du métamorphisme correspond à l’association à grenat, clinopyroxène sodique, glaucophane, phengite et zoïsite, c’est-à-dire à un assemblage typique des conditions du faciès des éclogites ;
- 2) le début de la décompression, qui est contemporain de la déformation majeure, s’accompagne d’une légère augmentation de température ;
- 3) la lawsonite, au moins dans les schistes andésitiques, cristallise tardivement par rapport à l’épidote et est à l’équilibre avec l’albite à la transition entre les faciès des schistes bleus et des schistes verts.

Ainsi, le chemin pression–température de la zone d’Acceglio est quantifié (figure 4) ; il se caractérise par une chute en pression, depuis le faciès des éclogites jusqu’au faciès des schistes verts, et par un fort refroidissement dans les stades finaux de la décompression. Ces nouvelles contraintes doivent être intégrées dans les modèles d’exhumation des roches de haute pression dans les Alpes occidentales. D’une façon plus générale, nos résultats confirment l’hétérogénéité des conditions métamorphiques au sein de la zone piémontaise des Alpes occidentales. En effet, les conditions du faciès des éclogites d’Acceglio sont contrastées par rapport aux conditions métamorphiques, du faciès des schistes bleus, des Schistes lustrés environnants (figure 5).

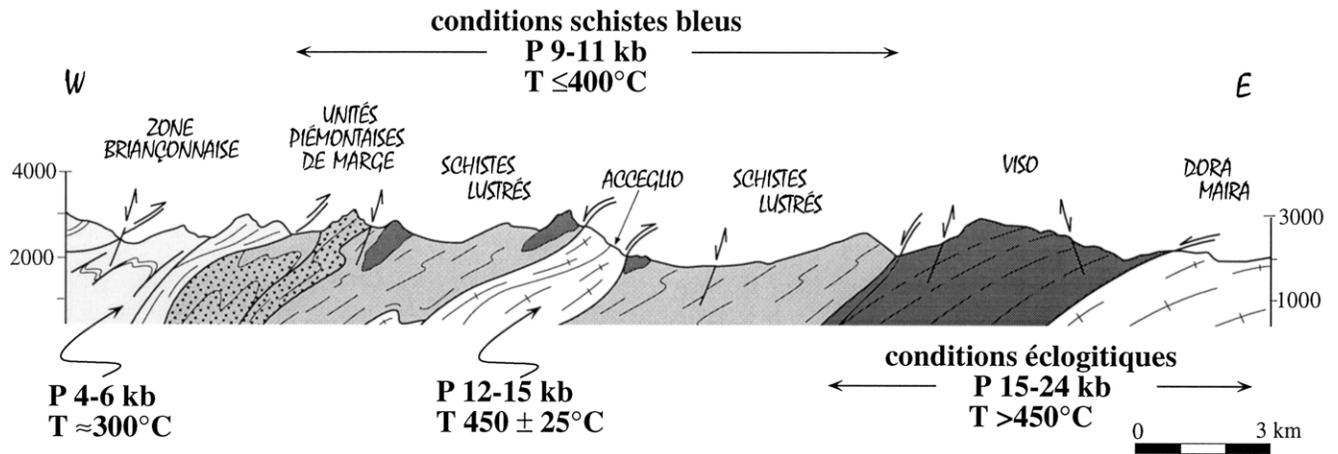


Figure 5. Coupe montrant les relations entre la zone d'Acceglío et les Schistes lustrés piémontais environnants ainsi que les conditions métamorphiques à l'échelle régionale (cf. légende de la figure 1).

Figure 5. Cross-section showing the relationships between the Acceglío zone and the Piemont *Schistes lustrés* and the metamorphic conditions at the regional scale (see caption of figure 1).

Tableau. Comparaison des estimations *P-T* obtenues pour les schistes andésitiques de la zone d'Acceglío. (*) nombre de couples grenat-phengite utilisé. Le calcul des teneurs en Fe³⁺ pour les amphiboles a été réalisé selon les procédures de Powell et Holland [23].

Table. Comparison of the *P-T* estimates obtained for the andesitic schists of the Acceglío domain. (*) number of garnet–phengite pairs used for thermometry. The amphibole Fe³⁺ content was obtained using the calculations of Powell and Holland [23].

	Thermobarometrie classique		Thermocalc (Powell et Holland, 1988)	
Stade I Eclogitique	Pression -Si ⁴⁺ dans la phengite > 3.55 P ≥ 12 kb à 400°C -Assemblage Jd-Qz stable P ≥ 11 kb à 400°C	Température Glaucophane et zoisite stables → 400 < T < 550°C Géothermomètre: -Grt/Phe (Krogh et Raheim, 1978) (phengite 1 en inclusion) 450 ± 20°C (12*) à 13 kb	Pression 13 ± 3 kb fit > 2.0 Assemblage: Grt-Phe-Gln (Jd-Lws-Ru-Ilm-Qz-H2O en excès)	Température 455 ± 20°C fit 1.8 Assemblage: Grt-Zo-Gln
	T=450 ± 25°C P=13.5 ± 1.5 kb			
Stade II transition Ec/SB	Pression -Si ⁴⁺ dans la phengite 3.35-3.50 P ≥ 8 kb à 450°C	Température Glaucophane et zoisite stables → 400 < T < 550°C Géothermomètres: -Cpx/Grt (Krogh et Raheim, 1978) (phengite 2 syn-foliale) 470 ± 30°C (18*) à 9 kb	Pression 9.5 ± 1.5kb fit < 1.0 Assemblage: Grt-Phe-Gln (Qz-Ab-H2O-Ru-Ilm en excès)	Température 470 ± 30°C fit 1.2 Assemblage: Grt-Zo-Phe
	T=465 ± 25°C P=9.5 ± 1.5 kb			

Ces données pétrologiques sont en accord avec les données structurales les plus récentes [2], qui conduisent

à interpréter la zone d'Acceglío comme une écaille tectonique extrudée au sein des Schistes lustrés piémontais.

Références

- [1] Caby R., Hiérarchie des déplacements et exhumation du socle de la zone Briançonnaise, des Alpes cottiennes aux Alpes graies, C. R. Acad. Sci. Paris, série II 315 (1992) 1517–1523.
- [2] Caby R., Low-angle extrusion of high-pressure rocks and the balance between outward and inward displacements of Middle Penninic units in the western Alps, *Eclogae geol. Helv.* 89 (1) (1996) 229–267.
- [3] Chopin C., Coesite and pure pyrope in high grade blue schists of the western Alps: a first record and some consequences, *Contrib. Mineral. Petrol.* 86 (1984) 107–118.
- [4] Chopin C., Henry C., Michard A., Geology and petrology of coesite-bearing terrain, Dora Maira, western Alps, *Eur. J. Mineral.* 3 (1991) 263–291.
- [5] Coleman R.G., Lee D.E., Brannock W.W., Eclogites and eclogites: their differences and similarities, *Bull. Geol. Soc. Am.* 76 (1965) 483–508.
- [6] Compagnoni R., The Sesia-Lanzo zone: high pressure-low temperature metamorphism in the Austro-alpine continental margin, *Rend. Soc. It. Miner. Petrol.* 33 (1977) 335–374.
- [7] Debelmas J., Lemoine M., Calcshistes piémontais et terrains à faciès briançonnais dans les hautes vallées de la Maira et de la Varaita (Alpes cottiennes, Italie), *C. R. somm. Soc. géol. France* (1957) 38–40.
- [8] Gidon M., Kerckhove C., Michard A., Tricart P., Goffé B., Carte géologique Aiguille de Chambeyron à 1/50 000, BRGM, 1994.
- [9] Goffé B., Chopin C., High pressure metamorphism in the Western Alps: zoneography of metapelites, chronology and consequences, *Schweiz. mineral. petrogr. Mitt.* 66 (1986) 41–52.
- [10] Heinrich W., Althaus E., Experimental determination of the reactions $4 \text{ lawsonite} + 1 \text{ albite} = 1 \text{ paragonite} + 2 \text{ zoisite} + 2 \text{ quartz} + 6 \text{ H}_2\text{O}$ and $4 \text{ lawsonite} + 1 \text{ jadeite} = 1 \text{ paragonite} + 2 \text{ zoisite} + 6 \text{ H}_2\text{O}$, *N. Jahrb. Mineral. Mh.* 11 (1988) 516–528.
- [11] Holland T.J.B., Experimental determination of the reaction $\text{paragonite} = \text{jadeite} + \text{kyanite} + \text{H}_2\text{O}$, and internally consistent thermodynamic data for part of the $\text{Na}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{H}_2\text{O}$, with application to eclogites and blueschists, *Contrib. Mineral. Petrol.* 68 (1979) 293–301.
- [12] Holland T.J.B., Powell R., An internally consistent thermodynamic dataset for phases of petrological interest, *J. Metamorph. Geol.* 16 (1998) 309–343.
- [13] Houfflain B., Caby R., Rétrocharrages précoces en climat schistes bleus à lawsonite-grenat : la « bande d'Acceglio-Longet » (Alpes cottiennes), *C. R. Acad. Sci. Paris, série II* 304 (1987) 199–204.
- [14] Krogh E.J., Raheim A., Temperature and pressure dependence of Fe-Mg partitioning between garnet and phengite with particular references to eclogites, *Contrib. Mineral. Petrol.* 66 (1978) 75–80.
- [15] Lardeaux J.M., Spalla M.I., From granulites to eclogites in the Sesia zone (Italian western Alps): a record of the opening and closure of the Piemont ocean, *J. Metamorph. Geol.* 9 (1991) 35–39.
- [16] Lardeaux J.M., Gosso G., Kienast J.R., Lombardo B., Relation entre le métamorphisme et la déformation dans la zone Sesia-Lanzo (Alpes occidentales) et le problème de l'éclogitisation de la croûte continentale, *Bull. Soc. géol. France* 24 (1982) 793–800.
- [17] Leake B.E., Nomenclature of amphiboles, *Can. Mineral.* 16 (1978) 501–520.
- [18] Lefèvre R., La structure et le style tectonique de la bande d'Acceglio en Val Maira (Alpes cottiennes italiennes), *Géologie alpine* 44 (1968) 27–36.
- [19] Lefèvre R., Les nappes briançonnaises internes et ultra-briançonnaises dans les Alpes cottiennes méridionales, thèse d'État, université Paris-Sud, 1982, 435 p.
- [20] Lefèvre R., Michard A., Les nappes briançonnaises internes et ultra-briançonnaises de la bande d'Acceglio (Alpes franco-italiennes). Une étude structurale dans le faciès des schistes bleus à jadéite, *Sci. Géol. Bull.* 29 (1976) 183–222.
- [21] Maresch W.V., Experimental study on glaucophane: an analysis of present knowledge, *Tectonophysics* 43 (1977) 109–125.
- [22] Massonne H.J., Schreyer W., Phengite barometry based on the limiting assemblage with K-feldspar, phlogopite and quartz, *Contrib. Mineral. Petrol.* 96 (1987) 212–224.
- [23] Powell R., Holland T.J.B., An internally consistent thermodynamic dataset with uncertainties and correlations. 3. Applications to geobarometry, worked examples and a computer program, *J. Metamorph. Geol.* 6 (1988) 173–204.
- [24] Spear F.S., Selverstone J., Quantitative *P-T* paths from zoned minerals: theory and tectonic applications, *Contrib. Mineral. Petrol.* 83 (1983) 348–357.