

Granitoïdes d'âge Paléozoïque inférieur dans le socle de Vanoise méridionale : géochronologie U-Pb du métagranite de l'Arpont (Alpes de Savoie, France)

Early Paleozoic granitoids in the southern Vanoise basement: U-Pb geochronology of the Arpont metagranite (Savoy, French Alps)

Jean-Michel BERTRAND¹ et Jacques LETERRIER^{2*}

¹ Laboratoire de géodynamique des Chaînes alpines, LGCA-CISM, campus scientifique, 73376 Le Bourget-du-Lac cedex ;

² Centre de recherches pétrographiques et géochimiques, BP 20, 54501 Vandœuvre-lès-Nancy cedex, France

RÉSUMÉ

Un métagranite de Vanoise méridionale (domaine briançonnais) a été daté par la méthode U-Pb sur zircon à 479 ± 4 Ma. Cet âge confirme que les micaschistes qui constituent l'essentiel de ce socle anté-alpin datent, au minimum, du Paléozoïque inférieur. Les rares composants magmatiques de Vanoise, de tendance alcaline, sont donc à rapprocher des orthogneiss appartenant à l'épisode d'extension cambro-ordovicienne, connu dans d'autres parties de la chaîne varisque.

Mots clés : U-Pb, Zircon, Alpes internes, Domaine briançonnais

ABSTRACT

The U-Pb age of a metagranite from southern Vanoise ('Briançonnais' domain) at 479 ± 4 Ma confirms that the micaschists which dominate this pre-alpine basement are, at least, of Early Paleozoic age. The rare magmatic rocks occurring in Vanoise and showing alkaline affinities, may be compared to the orthogneisses belonging to the Cambrian-Ordovician extensional event well known in other parts of the Varican belt.

Keywords: U-Pb, Zircon, Internal Alps, 'Briançonnais' domain

Abridged version (see p. 842)

Introduction

Les Alpes sont constituées en grande partie de formations appartenant au socle hercynien, mais d'âges encore mal connus. L'objectif de cette note est de déterminer l'âge d'un métagranite provenant du socle pré-alpin du do-

maine briançonnais, le massif de l'Arpont en Vanoise méridionale, afin de tenter de préciser l'origine paléogéographique de ce domaine. La lithologie et le site géologique des lentilles de roches d'origine magmatique (glaucophanites, prasinites et métagranites), associées aux micaschistes gris qui forment le socle de l'Arpont, sont

Note présentée par Jean-Paul Poirier

Note remise le 15 juillet 1997, acceptée après révision le 9 septembre 1997

* Correspondance et tirés à part. E-mail : jlet@crpg.cnrs-nancy.fr

décrits dans la notice de la feuille Modane au 1/50 000^e (Debelmas et al., 1989). L'étude structurale (Platt et Lister, 1985) a montré que les micaschistes, polymétamorphiques (Bocquet, 1974), supportent une couverture permienne réputée autochtone et des nappes formées de matériel mésozoïque. La déformation est polyphasée et le pic de métamorphisme de H.P., caractéristique des domaines internes alpins, est antérieur à la première phase de transport de nappes vers le nord-ouest. Le méta granite analysé provient d'une petite zone d'affleurement située à proximité du Lac de l'Arpont, l'échantillon ayant été récolté dans les éboulis situés sous l'affleurement principal, au nord du lac.

Pétrographie et caractéristiques des zircons analysés

L'échantillon analysé (ZH 95 18) est une roche très recristallisée, où l'on devine les formes de feldspaths centimétriques. En lame mince, la texture est finement grenue, due à une recristallisation statique. La foliation peu développée est soulignée par des taches verdâtres, constituées d'un feutrage fin de phengite et de biotite verte. L'albite forme des cristaux automorphes à subautomorphes. Le microcline perthitique, abondant, est partiellement remplacé par de l'albite et du quartz (présence de pyroxène jadéitique dans un échantillon voisin). La roche contient

aussi des zircons automorphes, quelques opaques et du stilpnomélane. A l'exception des restes de microcline et du zircon, tout l'assemblage minéral est secondaire, recristallisé lors du métamorphisme alpin. Du point de vue chimique, il s'agit d'un granite très évolué, riche en silice et en alcalins (SiO_2 74,87 %, Na_2O 3,7 %, K_2O 4,31 %), pauvre en Al, Mg et Ca, de caractère méta-alumineux. Il est riche en Ba (827 ppm), en Zr (365 ppm) et en terres rares (233 ppm). Le spectre de terres rares est très peu fractionné ($(\text{La/Yb})_N = 3,8$), avec une forte anomalie négative en Eu ($(\text{Eu/Eu}^*)_N = 0,28$). Sous réserve que le métamorphisme alpin n'ait pas induit de perturbations chimiques importantes, cette roche présente une nette affinité de granite alcalin ferrière.

Les zircons sont automorphes, avec certaines faces modérément arrondies ou montrant des traces de corrosion. Deux formes dominent : aiguilles ($L/l = 6$) et prismes trapus. La typologie selon Pupin (1980), très constante, est dominée par les formes S25 (30 %), P5 (30 %) et S24 (20 %), avec quelques grains de type J5 et D. Elles correspondent, selon cet auteur, aux termes alcalins de haute température. Au MEB (figure 1), la corrosion et l'altération se traduisent par un « blanchiment » de la partie centrale de certains grains ou par des taches qui s'étendent à partir du bord des grains (hydrozircon ?). Nettement discordantes par rapport à la zonation régulière des grains, ces taches sont limitées par une dentelle métamictique riche en micro-inclusions de quartz. Des inclusions polycristalli-

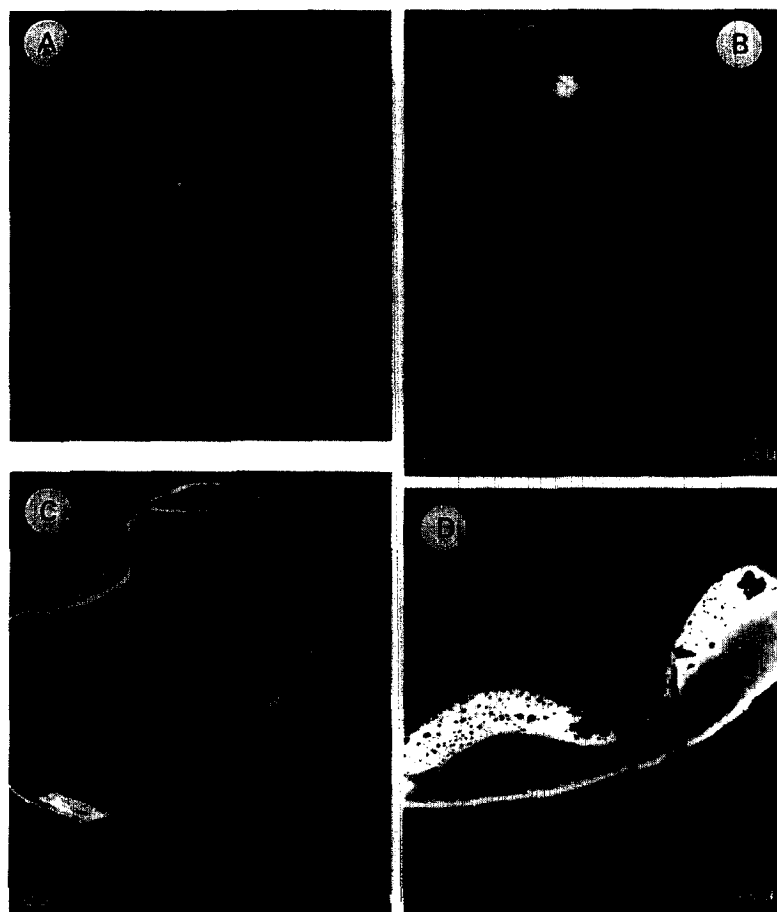


Figure 1. Images MEB (électrons rétrodiffusés) de zircons du méta granite de l'Arpont. A. Grain automorphe très zoné montrant de grosses inclusions d'apatite et de quartz. La recristallisation, très limitée en bord de grain, est bien développée dans la zone centrale, claire et nébulitique, bordée par une dentelle métamictique. B. Grain automorphe allongé. La grosse inclusion arrondie est formée de calcite (noire), de sphalérite et de chalcoppyrite (blanc brillant) ; l'inclusion allongée est formée de plagioclase et de biotite. C. Grain faiblement zoné à faces corrodées, montrant des bords envahis par une recristallisation en taches discordantes limitées par une zone métamictique riche en micro-inclusions de quartz. D. Détail d'une dentelle métamictique soulignant le contact d'une zone de recristallisation de bordure.

SEM images (back-scattered electrons) of zircons from the Arpont metagranite. A. Zoned euhedral grain showing large apatite and quartz inclusions. Recrystallisation occurs as a narrow rim and is more developed in the central part which shows a nebulitic texture bordered by a metamict 'lace'. B. Euhedral needle. The large round-shaped inclusion contains calcite (black), sphalerite and chalcopyrite (bright white) and the elongated inclusion is made of plagioclase and biotite. C. Poorly zoned grain with corroded faces, the edge being invaded by a discordant spotty recrystallisation bordered by a metamict zone with tiny quartz inclusions. D. Detail of a metamict 'lace' outlining the contact of a recrystallisation zone.

nes peuvent contenir des sulfures. Aucun cœur hérité n'a été observé. Il est tentant d'attribuer la corrosion et la recristallisation des bords de grain à la déformation et au métamorphisme (alpin ?).

Géochronologie U-Pb

L'analyse isotopique des zircons a été effectuée sur des fractions homogènes de 30 à 50 grains sélectionnés en fonction de leur granulométrie, magnétisme et morphologie. La procédure suivante a été utilisée : lavage des zircons à HNO_3 3N, digestion en bombes Teflon (HF et HNO_3) à 240 °C (Parrish, 1987). Deux aliquotes ont été éluées séparément sur résine anionique en milieu chlorhydrique (Krogh, 1973), l'une d'elles additionnée d'un traceur mixte ^{235}U - ^{208}Pb . Les blancs de plomb ont varié, pendant la durée de cette étude, de 51 à 91 pg. Les deux aliquotes de Pb et l'U ont été analysées séparément sur un spectromètre de masse Cameca TSN 206 (filament de rhénium, silicagel et acide phosphorique pour Pb, U étant analysé sous la forme de UO_2 sur filament de tungstène). Le calcul des marges d'erreurs, toujours données à 2 sigma, tient compte des incertitudes sur les rapports mesurés, de la composition isotopique du plomb commun (blanc analytique et correction du Pb initial selon le modèle de Stacey et Kramers, 1975) et de la discrimination de masse évaluée en analysant régulièrement un standard (NBS 983, préféré à d'autres standards mieux adaptés à cause des multiples mesures réalisées régulièrement au laboratoire). Une version simplifiée pour Macintosh du programme Isoplot de Ludwig (1987) a été utilisée pour calculer les droites de régression (Nemchin et al., 1994).

Les fractions analysées sont bien alignées sur le diagramme Concordia ($\text{MSWD} = 2,2$), avec un intercept supérieur à 479 ± 6 Ma et un intercept inférieur légèrement positif (tableau et figure 2). Une fraction abrasée (Krogh, 1982), correspondant aux zircons trapus les plus abondants (C1-2), est presque concordante (1,25 % de discordance) avec un âge $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ de 479 ± 4 Ma. Le bon alignement et la présence d'un point sub-concordant permettent d'interpréter l'âge obtenu comme étant l'âge de mise en place, malgré les rapports $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ assez faibles, dus à une part importante de plomb commun probablement d'origine primaire (inclusions de sulfures observées au MEB).

Discussion et conclusion

A l'exception d'une possible perte épisodique d'âge alpin (intercept inférieur positif), aucun événement postérieur à la mise en place n'a produit de réouverture significative du système U-Pb. Les données géochronologiques sont rares dans les formations anté-alpines du domaine briançonnais. Des âges voisins sont déjà connus en Vanoise Nord (507 ± 9 Ma, Guillot et al., 1991) et dans l'unité du Grand Saint Bernard en Suisse (500 ± 3 - 4 Ma, Bussy et al., 1996). L'unité des gneiss du Sapey, en bordure ouest de la Vanoise, n'a fourni que des âges minimum (intercepts inférieurs), de l'ordre de 360 Ma (Bertrand et al., sous presse). De cette absence apparente de traces d'événements hercyniens en Vanoise, Guillot et al. (1993) avaient conclu que le domaine briançonnais pourrait ne s'être accolé à la plaque européenne qu'après les événements varisques. Cependant, il faut remarquer que ces socles

Tableau. Échantillon ZH 95-18-Métagranite de l'Arpont. Les labels des fractions correspondent à la granulométrie avant abrasion : C : 100-75 μm ; D : 75-45 μm .

Fraction labels correspond to the granulometry (before abrasion) : C: 100–75 μm ; D: 75–45 μm .

Fraction	C1-2	C1-1	D1-1	C2-2
Magnétisme	Nm 2°, 3,5A	Nm 1°, 3,5A	Nm 2°, 3,5A	Nm 2°, 3,5A
Caractéristiques	ab, tr, auto	nab, aig, auto	nab, tr, auto	nab, tr, auto
Poids (mg)	0,06	0,04	0,1	0,1
Pb* ppm	31,8	54,2	22,4	30,3
U	393,3	733,5	311,9	428,2
$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	379	438	546	432
$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	0,07617 (0,13 %)	0,07059 (0,17 %)	0,06912 (0,10 %)	0,07024 (0,11 %)
$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	0,59517 (0,33 %)	0,55131 (0,45 %)	0,53955 (0,30 %)	0,54835 (0,32 %)
$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	0,05667 (0,21 %)	0,05665 (0,30 %)	0,05662 (0,20 %)	0,05662 (0,22 %)
Coef corrél x, y	0,93	0,96	0,94	0,94
Age $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$473,2 \pm 0,6$	$439,7 \pm 0,7$	$430,8 \pm 0,4$	$437,6 \pm 0,5$
Age $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$474,2 \pm 1,2$	$445,9 \pm 1,6$	$438,1 \pm 1,1$	$443,9 \pm 1,2$
Age $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	479 ± 4	478 ± 6	477 ± 5	477 ± 5

Abbréviations : ab : fraction abrasée ; nab : fraction non abrasée ; Nm : non magnétique ; auto : automorphe ; tr : trapus ; aig : aiguilles. Les erreurs en 2σ sur les rapports, en pourcentage, sont indiquées entre parenthèses. Les erreurs sur les âges sont à 2σ . Le rapport $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ est celui de l'aliquote non "spikée". Les rapports calculés ont été corrigés du blanc de plomb (entre 51 et 91 pg au cours des analyses), du plomb commun selon Stacey et Kramers (1975) et de la discrimination de masse.

Abbreviations: ab: abraded fraction; nab: unabraded fraction; Nm: non magnetic; auto: euhedral; tr: stubby shape; aig: needles. 2σ errors (%) are indicated in brackets. Age errors are at 2σ level. $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ ratios are those of the unspiked aliquots. Ratios were corrected from common lead blanks (51–91 pg during this study), from initial common lead using the Stacey and Kramers model (1975) and from mass discrimination.

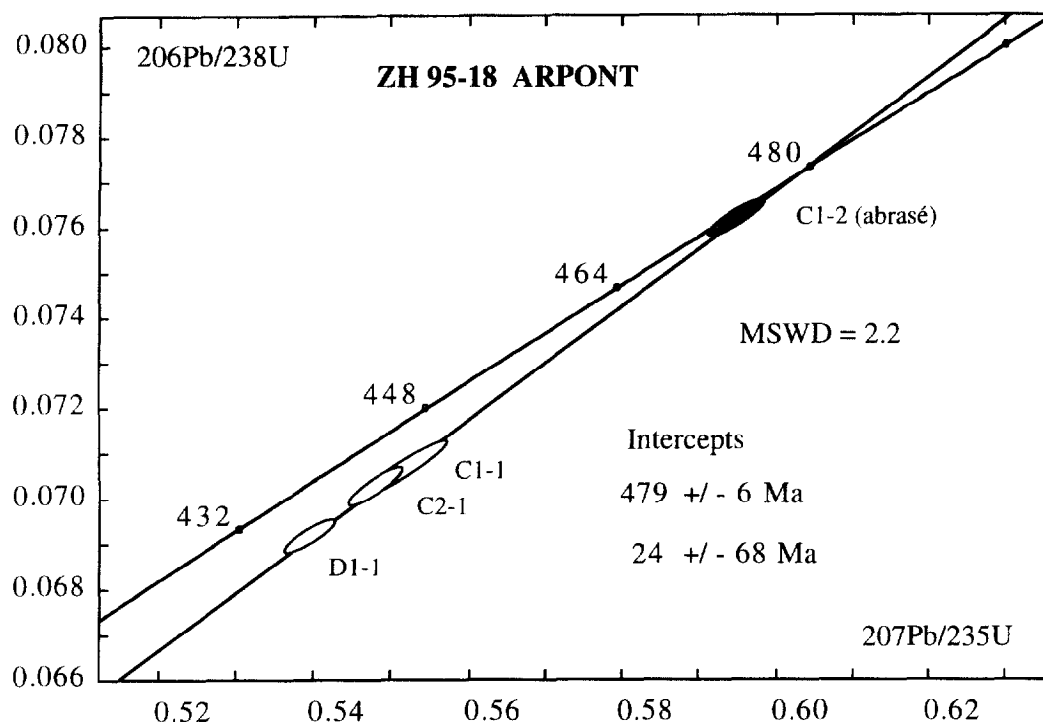


Figure 2. Diagramme Concordia.

Concordia diagram.

sont variés, tant par leur lithologie que par l'ampleur de leur réactivation alpine et que des indices d'événements hercyniens existent en certains endroits : âges $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ de 340-360 Ma de phengites d'Ambin (Monié, 1990), âge U-Pb de 330 ± 2 Ma de monazites de métapélites du Mont Mort (Bussy et al., 1996). On ne peut donc déduire des âges disponibles dans le domaine pennique, que l'existence d'une différence par rapport aux spectres d'âge déterminés dans les massifs cristallins externes des Alpes, zone la plus proche identifiable de la plaque européenne s.s., qui sont groupés autour de 335 Ma et de 300 Ma (Schaltegger, 1993). Cette différence ne fournit qu'une vérification partielle de l'hypothèse de l'exotisme du domaine Briançonnais (Stampfli, 1993), péninsule d'origine ibérique à corso-sarde accrétée latéralement (Ricou, 1980 ; Bard, 1997) avant ou pendant l'ouverture de l'océan Valaisan au Crétacé. L'activité magmatique d'âge Cambro-Ordovicien est connue dans toute la chaîne hercynienne : complexes ophiolitiques tels que Chamrousse

(Cristallin externe) à 496 Ma (Pin et Carme, 1987 ; Ménot et al., 1988), ou orthogneiss variés, alcalins à calco-alcalins, en Rouergue et Limousin (Pin et Lancelot, 1985), dans les Pyrénées (Delaperrière et Soliva, 1992 ; Delaperrière et Respaut, 1995) et en Bretagne et Vendée (Jegouzo et al., 1986). Dans tous les cas, cette activité est reliée à un épisode d'extension crustale, responsable de l'ouverture de domaines océaniques, ou à une activité magmatique alcaline ou bimodale (Pin et Marini, 1993). Les faciès métavolcaniques et métagranitiques de Vanoise méridionale et l'important complexe bimodal du Mont Pourri en Vanoise Nord (Guillot et al., 1993) sont les représentants de cette activité magmatique d'âge Cambro-Ordovicien dans les Alpes internes. Les âges obtenus dans le domaine Briançonnais confirment que certains segments du socle des Alpes internes contiennent des intrusions mises en place à l'Ordovicien inférieur, ce qui implique un âge Cambrien ou plus ancien pour leur encaissant paradérivé.

ABRIDGED VERSION

Introduction

The Alpine belt comprises a large volume of pre-alpine basement series whose age is poorly known. Dating of a pre-alpine magmatic body occurring within the monotonous micaschist formation which constitutes the basement of the "Briançonnais" domain in southern Vanoise has been carried out in order

to test possible correlations with the Variscan units of the External Crystalline (Belledonne and Mont Blanc) and to constrain the paleogeographic origin of the domain. The Arpont basement forms a large domal structure outcropping beneath the "Briançonnais" nappes and parautochthonous permian schists. Polymetamorphic micaschists (Bocquet, 1974) contain small lenses of metavolcanics and, locally, metagran-

ites whose complex deformation and HP metamorphism pre-date the oldest alpine NW-verging nappe-forming event (Platt and Lister, 1985). The geological setting of the metagranite occurrence is described in the notes accompanying the Modane 1/50 000 geological map (Debelmas et al., 1989). The analysed sample comes from the Lac de l'Arpont (from a scree below the main outcrop).

Petrography and zircon characteristics

The analysed sample (ZH 95 18) is a largely recrystallized metagranite showing a finely statically recrystallised texture dominated by quartz and albite with some phengite and green biotite. Relict microcline is partly replaced by quartz and albite while jadeite has been observed within K-Feldspar in another sample. Large euhedral zircon, opaque minerals and secondary stilpnomelane also occur. The chemistry shows that the granite is highly differentiated, with high silica and alkali content (SiO_2 74.87%, Na_2O 3.7%, K_2O 4.31%), low Al, Mg and Ca, corresponding to a metaluminous type. It is also rich in Ba (827 ppm), Zr (365 ppm) and REE (233 ppm). The REE profile is weakly fractionated ($(\text{La}/\text{Yb})_N = 3.8$) and shows a large negative Eu anomaly ($(\text{Eu}/\text{Eu}^*)_N = 0.28$). Although alpine metamorphism may have induced a chemical alteration, the granite shows an Fe-alkaline affinity.

Zircons are euhedral but some faces are slightly rounded and show corrosion features; they consist of elongated needles ($L/l = 6$) and stubby prisms. According to Pupin's terminology (1980), S25, P5 and S24 are the most frequent types with occasional J5 and D, corresponding to zircon types from high temperature, alkaline magmas. SEM images (figure 1) show that corrosion and alteration result in whitening of the central part of some grains or spots which develop at the surface (hydrozircons?), both being clearly discordant with respect to the regular zoning. A metamict "lace" rich in quartz micro-inclusions occurs along the contact of these alteration zones which may have been formed as a result of post-crystallization deformation and metamorphism.

U-Pb geochronology

Analytical data were obtained by a conventional U-Pb study on small fractions of zircons. Some fractions of zircon have been abraded as described by Krogh (1982). The chemical separation of U and Pb was performed using methods adapted from Krogh (1973) and Parrish (1987). Isotopic measurements were done with a Cameca TSN 206 mass spectrometer equipped with a secondary electron multiplier. Common lead corrections combine measured analytical blanks and Stacey and Kramers' model of lead evolution (1975). Common lead blanks varied from 51 to 91 pg during this study. Regression line calculations

were made using the Isoplot program (Ludwig, 1987) in a simplified Macintosh version (Nemchin et al., 1994). Analytical data define a line ($\text{MSWD} = 2.2$) whose intercept with the concordia gives a 479 ± 6 Ma age; the lower intercept is slightly positive and may reflect an alpine event (table and figure 2). An abraded fraction (C1-2) which corresponds to stubby grains is almost concordant (1.25% discordancy) and yields a $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ age of 479 ± 4 Ma. This age is interpreted as corresponding to the emplacement age although the $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ ratio indicates a high common Pb which is probably a primary character of the studied zircons as suggested by the presence of sulfide inclusions observed on SEM images.

Discussion and conclusion

As no post-emplacement isotopic resetting is observed, it is suggested that the Hercynian metamorphism was very weak in the Vanoise basement. There are few available radiometric results, in particular U-Pb data, from the Briançonnais domain. However, Early Paleozoic ages are known from northern Vanoise (507 ± 9 Ma, Guillot et al., 1991) and from the Grand Saint Bernard unit in Switzerland ($500 \pm 3/4$ Ma, Bussy et al., 1996). The Sapey gneisses (Zone Houillère Briançonnaise) yielded minimum ages of ca. 360 Ma (Bertrand et al. in press). Although some authors suggested that the Briançonnais domain was accreted to the European plate after the Variscan events (Guillot et al., 1993), it must be underlined that Hercynian ages have been also published: $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ phengite ages of 340–360 Ma from Ambin (Monié, 1990) and U-Pb monazite of age of 330 Ma from the Mont Mort metapelites in the Grand Saint Bernard nappe (Bussy et al., 1996). Thus, concerning the chronology of the basement units included in the Briançonnais domain, the only difference which appears from the small number of available data consists in the apparent lack of plutonic activity between ca. 335 Ma and ca. 300 Ma which dominates in the external crystalline massifs (Schaltegger, 1993). An exotic origin for the Briançonnais has been also suggested by some authors (Stampfli, 1993; Ricou, 1980; Bard, 1997). A possible Spanish or Corso-Sardinian origin and an oblique accretion before or during the opening of a Valaisan ocean is only partially supported by the chronological data obtained from the Briançonnais basements. In any case Cambro-Ordovician magmatic activity related either to ophiolitic complexes or to a major extensional event is known in most of the Variscan belt (Pin and Carme, 1987; Ménot et al., 1988; Pin and Lancelot, 1985; Delaperrière and Soliva, 1992; Delaperrière and Respaut, 1995; Jegouzo et al., 1986; Pin and Marini, 1993, for a review). The Arpont metagranite of Vanoise may reflect this major event in the internal Alps. Its age confirms that part of the pre-Alpine basement of the internal Alps is Lower Paleozoic in age.

Remerciements : Cette note est une contribution au programme GeoFrance3D-Alpes (CNRS/INSU-BRGM-MENSR). Nous remercions J.P. Martinod pour l'autorisation d'échantillonner dans le Parc de la Vanoise et C. Pin pour sa lecture critique. Contribution CRPG n° 1286.

RÉFÉRENCES

- Bard J.P. 1997. Démembrement anté-mésozoïque de la chaîne varisque d'Europe occidentale et d'Afrique du Nord : rôle essentiel des grands décrochements transpressifs dextres accompagnant la rotation-translation horaire de l'Afrique durant le Stéphanien. *C. R. Acad. Sci. Paris*, 324, série IIa, 693-704
- Bertrand J.M., Guillot F., Leterrier J., Perruchot M.P., Aillères L. et Macaudière J. (sous presse). Granitoïdes de la zone houillère briançonnaise en Savoie et en Val d'Aoste (Alpes occidentales) : géologie et géochronologie U-Pb sur zircon. *Geodin. Acta*
- Bocquet (Desmons) J. 1974. Le socle briançonnais de Vanoise (Savoie) : arguments en faveur de son âge anté-alpin et de son polymétamorphisme. *C. R. Acad. Sci. Paris*, 278, série D, 2601-2604
- Bussy F., Derron M.H., Jacquod J., Sartori M. et Thélin, P. 1996. The 500 Ma-old Thyon metagranite: a new A-type granite occurrence in the Penninic realm (Western Alps, Wallis, Switzerland). *Eur. J. Mineral.*, 8, 565-575
- Bussy F., Sartori M. et Thélin P. 1996. U-Pb zircon dating in the middle Penninic basement of the Western Alps (Valais, Switzerland). *Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt.*, 76, 81-84
- Debelmas J., Desmons J., Ellenberger F., Goffé B., Fabre J., Jaillard E. et Pachoud A. 1989. Notice explicative. Carte géologique de la France (1/50 000), feuille Modane (775), BRGM-Orléans, 53 p.
- Delaperrière, E. et Soliva J. 1992. Détermination d'un âge Ordovicien supérieur-Silurien des gneiss de Casemi (Massif du Canigou, Pyrénées orientales) par la méthode monozircon évaporation directe. *C. R. Acad. Sci. Paris*, 314, série II, 345-350
- Delaperrière E. et Respaut J.P. 1995. Un âge ordovicien de l'orthogneiss de La Preste par la méthode d'évaporation directe du plomb sur monozircon remet en question l'existence d'un socle précambrien dans le massif du Canigou (Pyrénées orientales, France). *C. R. Acad. Sci. Paris*, 320, série II, 1179-1185
- Guillot F., Liégeois J.P. et Fabre J. 1991. Des granophyres du Cambrien terminal dans le Mont Pourri (Vanoise, zone briançonnaise) : première datation U-Pb sur zircon d'un socle des zones internes des Alpes françaises. *C. R. Acad. Sci. Paris*, 313, série II, 239-244
- Guillot F., Desmons, J. et Ploquin A. 1993. Lithostratigraphy and geochemical composition of the Mt Pourri volcanic basement, Middle Penninic W-Alpine zone, France. *Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt.*, 73, 319-334
- Jegouzo P., Peucat J.J. et Audren C. 1986. Caractérisation et signification géodynamique des orthogneiss calco-alcalins d'âge ordovicien de Bretagne méridionale. *Bull. Soc. géol. France*, II, 839-848
- Krogh T.E. 1973. A low-contamination method for hydrothermal decomposition of zircon and extraction of U and Pb for isotopic age determination. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 37, 485-494
- Krogh T.E. 1982. Improved accuracy of U-Pb zircon ages by the creation of more concordant systems using an air abrasion technique. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 46, 637-649
- Ludwig K.R. 1987. Isoplot 200, a plotting and regression program for isotope geochemists, for use with HP series 200 computers. *US Geol. Surv. Open-File Report*, 45 p.
- Ménot R.P., Peucat J.J., Scarenzi D. et Piboule M. 1988. 496 Ma age of plagiogranites in the Chamrousse ophiolite complex (external crystalline massifs in the French Alps): evidence of a Lower Paleozoic oceanization. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 39, 98-708
- Monie P. 1990. Preservation of Hercynian 40Ar/39Ar ages through high-pressure low-temperature alpine metamorphism in the western Alps. *Eur. J. Mineral.*, 2, 343-361
- Nemchin A.A., Pidgeon R.T. et Wilde S.A. 1994. Timing of Late Archaean granulite facies metamorphism in southwestern Yilgarn craton of Western Australia: evidence from U-Pb ages of zircons from mafic granulites. *Precambrian Res.*, 68, 307-322
- Parrish R.R. 1987. An improved micro-capsule for zircon dissolution in U-Pb geochronology. *Chem. Geol.*, 66, 99-102
- Pin C. et Carme F. 1987. A Sm-Nd isotopic study of 500 Ma old oceanic crust in the Variscan belt of western Europe: the Chamrousse ophiolite complex, western Alps (France). *Contrib. Mineral. Petrol.*, 96, 406-413
- Pin C. et Lancelot J. 1985. U-Pb dating of an Early Paleozoic bimodal magmatism in the French Massif Central and its further metamorphic evolution. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 79, 1-12
- Pin C. et Marini F. 1993. Early Ordovician continental break-up in Variscan Europe: Nd-Sr isotope and trace element evidence for bimodal igneous associations of the Southern Massif Central, France. *Lithos*, 29, 177-196
- Platt J.P. et Lister G.S. 1985. Structural evolution of a nappe complex, southern Vanoise massif, French Penninic Alps. *J. Struct. Geol.*, 7, 145-160
- Pupin J.P. 1980. Zircon and granite petrology. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 73, 207-220
- Ricou L.E. 1980. La zone sub-briançonnaise des Alpes occidentales interprétée comme la trace d'un ample décrochement senestre sub-méridien. *C.R. Acad. Sci. Paris*, 290, série D, 835-838
- Schaltegger U. 1993. The evolution of the polymetamorphic basement in the Central Alps unravelled by precise U-Pb zircon dating. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 113, 466-478
- Stacey J.S. et Kramers J.D. 1975. Approximation of terrestrial lead isotope evolution by a two-stage model. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 26, 207-221
- Stampfli G.M. 1993. Le Briançonnais, terrain exotique dans les Alpes ? *Eclogae Geol. Helv.*, 86, 1-45