

Zeitschrift: Schweizerische mineralogische und petrographische Mitteilungen = Bulletin suisse de minéralogie et pétrographie
Band: 67 (1987)
Heft: 1/2

Artikel: Age potassium-argon de galets andésitiques des grès Champsaur (Hautes-Alpes, France)
Autor: Fontignie, D. / Delaloye, M. / Vuagnat, M.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-51597>

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: 28.01.2026

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

Age potassium-argon de galets andésitiques des grès du Champsaur (Hautes-Alpes, France)*

par D. Fontignie¹, M. Delaloye¹ et M. Vuagnat¹

Abstract

Pebbles from two conglomerates in the Grès du Champsaur formation have been chemically analysed and dated by potassium-argon method. Apart from a few pebbles with diabasic affinities, the rocks are andesites or basaltic andesites with microporphyratic texture. They show signs of alteration or very low grade metamorphism. In one outcrop, there has been extensive calcitization but fresh basic zoned plagioclases are preserved. In the other outcrop, there has been pervasive albitisation and the pebbles are spilites.

Including three granitic rocks, twenty two specimens were dated. The results were statistically studied by principal components and cluster analyses.

The rocks with diabasic affinities seem older than the andesitic rocks. It appears that in the Champsaur formation these two kinds of volcanic fragments are chronologically distinct.

The andesitic pebbles constitute two groups of slightly different ages characterized by a small argon overpressure. Because of this phenomenon, only maximum ages can be derived: 37.6 ± 1.3 Ma and 40.2 ± 1.3 Ma. Minimum ages cannot be estimated but they must be at least equal to the stratigraphic age, probably uppermost Eocene. A currently admitted age for the Eocene-Oligocene boundary is 35.7 Ma. If the andesite flows are coeval with the sedimentation, the volcanic zone should be looked for in the vicinity of the sedimentation basin of the Champsaur formation; if they are older, the volcanics might have originated in a more internal zone and then transported as part of a nappe to the rim of the sedimentation basin. We do not have, as yet, a sufficient number of data to decide between the two hypotheses. More age determinations are needed with improvements of the statistical methods.

Keywords: Potassium-argon method, conglomerate, alpine volcanics, Grès du Champsaur formation, Western Alps.

Résumé

Des galets provenant de deux passées conglomératiques des grès du Champsaur ont été analysés chimiquement puis datés par la méthode potassium-argon. Parmi les vingt-deux échantillons étudiés, trois sont des galets de roches granitiques, le reste, des galets de roches intermédiaires à basiques. Au sein de ces dernières, on distingue, d'une part, un petit groupe de roches d'affinité diabasique et, d'autre part, une majorité constituée d'andésites ou d'andésites basaltiques à structure microporphyrrique riches en plagioclase.

Ces roches ont subi différentes altérations qui se sont traduites, dans l'un des affleurements, par une intense calcitisation ayant toutefois préservé des plagioclases calciques zonés. Dans l'autre affleurement en revanche, nous observons une transformation spilitique avec forte albitisation des plagioclases. Ces deux modes d'altération sont corroborés par les analyses chimiques.

Les datations radiométriques ont été examinées par les méthodes statistiques d'analyse des composantes principales et d'analyse de grappes.

Les roches à affinité diabasique paraissent plus anciennes que les roches andésitiques, montrant que, dans le Champsaur également, ces deux types de manifestation volcanique sont chronologiquement distincts.

* En l'honneur du Professeur Ernst Niggli pour son 70^e anniversaire.

¹ Département de Minéralogie, Université de Genève, 13, rue des Maraîchers, 1211 Genève 4.

Il apparaît que les andésites forment au moins deux groupes d'âges légèrement différents, caractérisés par une faible surpression d'argon. En raison de cette dernière, seuls des âges maximums peuvent être précisés: 37.6 ± 1.3 Ma et 40.2 ± 1.3 Ma. Il n'a pas été possible de fixer une limite inférieure. Celle-ci ne saurait être de beaucoup inférieure à l'âge stratigraphique des grès puisque le métamorphisme ultérieur a été de faible degré. L'âge stratigraphique le plus probable est l'extrême sommet de l'Eocène et l'âge radiométrique admis pour la limite Eocène-Oligocène est de 35.7 Ma. Les andésites sont donc modérément antérieures à subcontemporaines de la sédimentation.

Le modèle expliquant l'origine et la localisation du volcanisme ayant donné naissance aux grès de Taveyenne-grès du Champsaur dépend de la différence entre l'âge radiométrique des andésites et l'âge stratigraphique des grès. Si cette différence est négligeable, ce volcanisme ne peut être que *in situ*; si elle est plus importante, les débris volcaniques peuvent être polygéniques et provenir de régions plus internes du bassin de sédimentation. C'est le problème de cette différence d'âge que nous tâcherons de résoudre en augmentant le nombre de datations et en améliorant les méthodes statistiques disponibles.

Introduction

En raison de leur composition minéralogique particulière et du métamorphisme qu'ils ont subi, les grès des Flysch connus sous les noms de grès de Taveyenne-grès du Champsaur ont éveillé l'intérêt de nombreux géologues alpins. Ces roches sont des grauwackes souvent très riches en éléments volcaniques ayant, en général, une composition d'andésite basaltique. L'origine, le mode de formation et l'âge de ces débris volcaniques n'ont pas encore reçu de solutions définitives satisfaisantes.

Bien que beaucoup de géologues se rallient aux conclusions de DE QUERVAIN (1928) reprises par VUAGNAT (1952, 1983), qui considèrent que les grès de Taveyenne sont des roches volcanoclastiques et non pyroclastiques, certains auteurs, notamment GIRAUD (1983), ont cru voir, dans le Champsaur et en Haute-Savoie, soit des restes de coulées, soit des filons, témoins d'un volcanisme *in situ* contemporain de la sédimentation des grauwackes. L'âge stratigraphique des grauwackes se situe à la limite Eocène-Oligocène.

La présente note est une contribution à l'étude de l'âge radiométrique des débris volcaniques des grès du Champsaur. Elle s'inscrit dans la suite du travail de FONTIGNIE (1980) sur la géochronologie de certains éléments des grès des Flysch de Haute-Savoie.

Les datations potassium-argon de tels matériaux sont délicates car, outre les difficultés inhérentes à de telles déterminations (surpression d'argon, argon hérité, perte de potassium), d'autres obstacles se présentent. Tout d'abord, les galets de roches volcaniques de taille suffisamment grande pour en permettre une étude complète sont rares. Ensuite, les grès de Ta-

veyenne et du Champsaur ont subi un métamorphisme dans le faciès zéolites ou pumpellyite-préhnite (MARTINI et VUAGNAT, 1965). Ce métamorphisme est susceptible d'avoir perturbé les systèmes potassium-argon. A la limite, ceux-ci ont pu être réinitialisés et, dans ce cas, les âges obtenus correspondent à un âge de métamorphisme. Plus probablement, le métamorphisme a pu ouvrir partiellement les systèmes, altérant la composition isotopique de l'argon présent et induisant des pertes d'argon et/ou de potassium. Les âges mesurés sont alors des âges excès, et sont alors délicats à interpréter.

A partir d'une collection de galets de roches volcaniques provenant de deux passées conglomeratiques intercalées dans les grès du Champsaur, nous avons mené une étude géochronométrique. Rappelons que le Champsaur (Figure 1) est une vallée située dans les Alpes dauphinoises juste au sud du massif cristallin du Pelvoux, au nord de la ville de Gap (Hautes-Alpes, France). L'un des affleurements (situation en Figure 2) se trouve au signal dominant le village de Montorcier (pt. 2049,1 de la carte XXXIV-37 5-6 au 1/25000); le second affleurement se situe au NW du premier, dans les pentes sous le sommet du Palastre. Ces deux passées conglomeratiques font partie des grès du Champsaur sensu lato terminant la série stratigraphique de la 3^e unité de BEUF (1959).

Cet auteur distingue cinq unités dans son analyse tectonique du massif de Soleil Boëuf. L'unité 1 correspond à l'autochtone de couverture du cristallin du Vieux Chaillol; les autres unités constituent un empilement d'écailles ultradauphinoises charriées d'est en ouest. Lorsqu'on examine la composition des grès du Flysch de ces unités, on constate, en gros, une

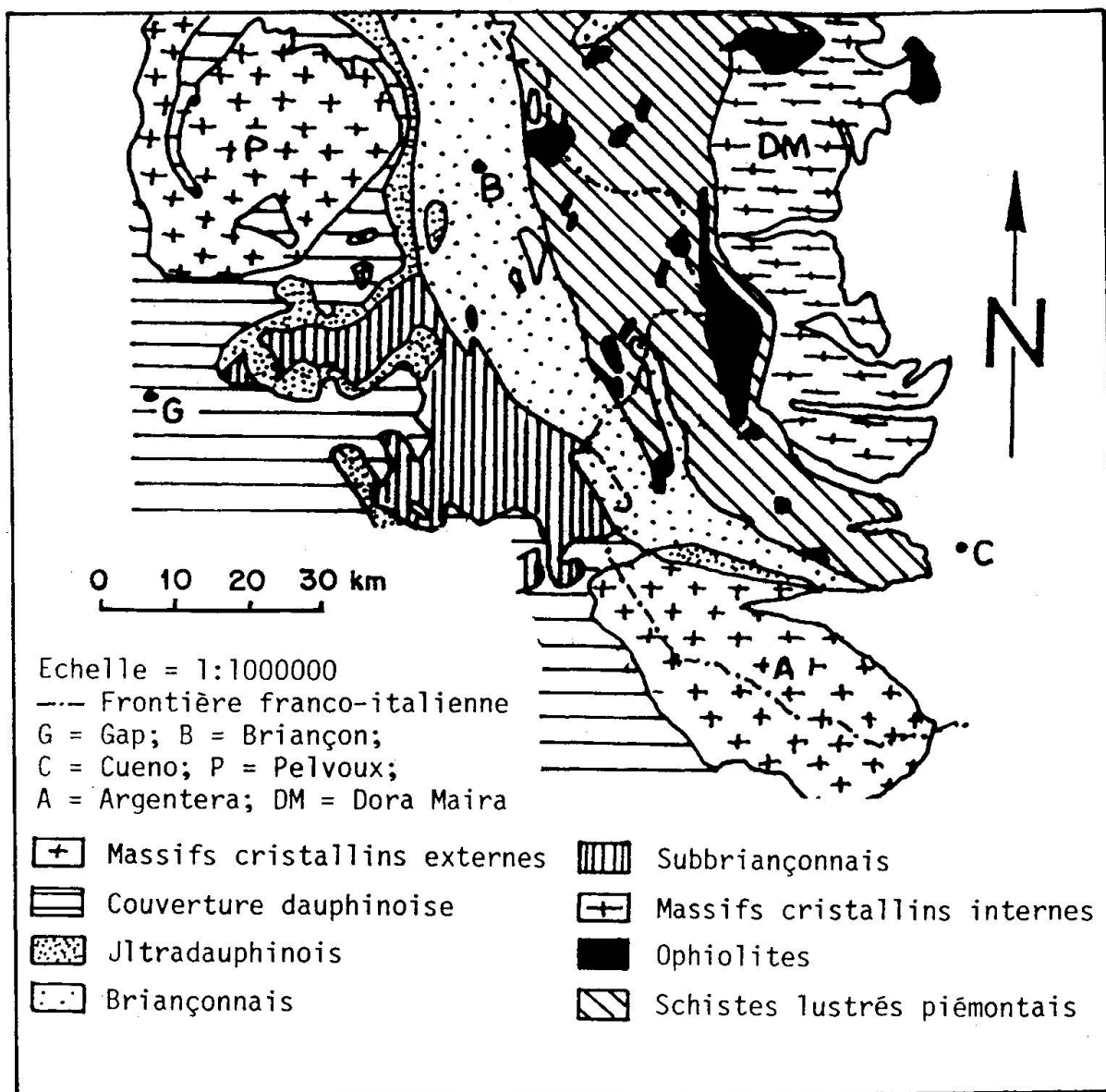


Fig. 1 Schéma structural des Alpes franco-italiennes entre Argentera et Pelvoux.
(Modifié d'après DEBELMAS et al., 1977.)

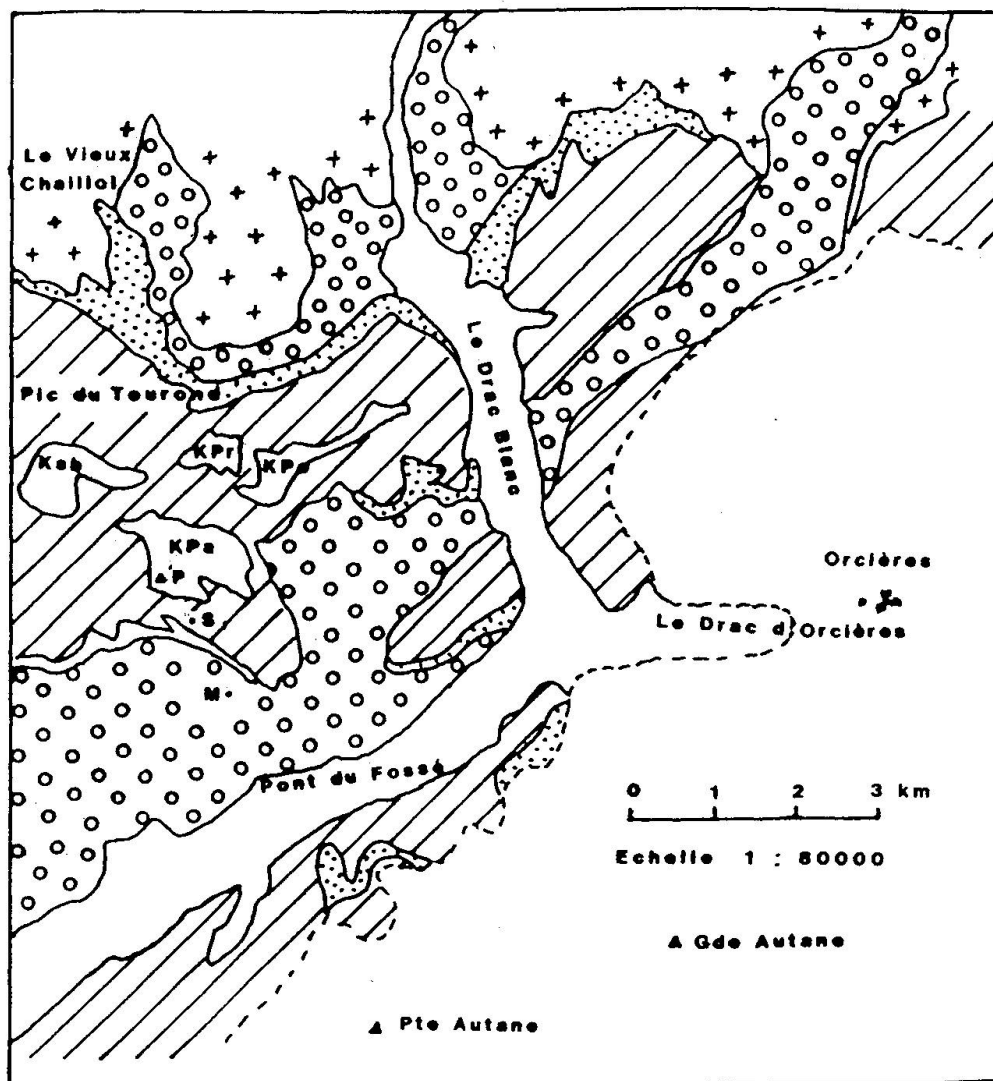
diminution de la proportion en éléments volcaniques de l'unité 1 à l'unité 5. Comme cette dernière unité a une origine plus interne que les unités sous-jacentes, cela signifie que, dans le bassin de sédimentation des Flysch, la teneur en éléments volcaniques augmentait d'est en ouest. Ainsi les éléments basiques ou intermédiaires semblent être absents des grès de l'unité qui ont le type «grès d'Annot», tandis que les grauwackes riches en débris volcaniques, très semblables aux grès de Taveyanne, se rencontrent dans l'unité 1 (autochtone). Rappelons qu'une évolution analogue a été observée en Haute-Savoie, dans le synclinal de Thônes par SAWATZKI (1975). Dans le Champsaur, toute-

fois, il reste à mieux mettre en évidence cette évolution par des observations plus nombreuses et, surtout, quantitatives.

Echantillons analysés

La taille des galets dans les conglomérats est variable, elle peut atteindre quelques centimètres.

Macroscopiquement, les roches volcaniques étudiées présentent une couleur allant du gris au vert foncé ou au vert olive. L'arrondi des galets est très bon, indiquant qu'il s'agit, non de fragments pyroclastiques, mais, plus



--- Chevauchement de la nappe de l'embrunais

M = Montorcier; P = Le Palastre; S = Signal de Montorcier;

KPa = Klippe du Palastre; Ksb = Klippe de Soleil boeuf;

KPr = Klippe de Prouveyrat; KPo = Klippe de la Poustrele.

Grès du Champsaur

Mésozoïque

Calcaires à nummulites et schistes à globigérines

Cristallin du Pelvoux

Fig. 2 Localisation et situation géologique des affleurements des deux passées conglomératiques dans les grès du Champsaur.

vraisemblablement, de fragments ayant été transportés et roulés par les processus ordinaires de la sédimentation.

L'examen microscopique des lames minces révèle des roches riches en plagioclases que l'on peut classer en deux grands groupes: un ensemble, nettement majoritaire, de roches

porphyriques à pâte microlitique ou felsitique et deux galets à structure intersertale ou diabasique (M16 et M43).

Les roches du premier groupe sont similaires à certaines andésites basaltiques, telles que les ont décrites DE QUERVAIN (1928), VUAGNAT (1952) et MARTINI (1968). Les structures

Tab. 1 Origine et description pétrographique des échantillons étudiés.

M1	M *	Andésite à plagioclases frais zonés en partie conservés, minéraux ferromagnésiens chloritisés, ciment calcitique.
M2	M *	Andésite calcitisée, altération très forte.
M7	M	Granite à grain fin, très frais.
M15	M *	Andésite à plagioclases calciques partiellement conservés, forte calcitisation.
M16	M *	Roche à structure intersertale traversée par un filonnet épidotique.
M19	M *	Andésite à calcitisation modérée.
M21	M	Andésite à mésostase felsitique, minéraux ferromagnésiens chloritisés.
M28	M	Andésite riche en plagioclases, augite et hornblende calcitisés. Rares cristaux de biotite.
M30	M *	Andésite à plagioclases calciques, augite calcitisées avec quelques reliques fraîches.
M32	M	Granite à muscovite à grain fin.
M34	M	Andésite à mésostase pilotaxique, rares reliques de pyroxène, forte calcitisation.
M40	P *	Andésite à plagioclases albitisés, minéraux ferromagnésiens chloritisés.
M42	P *	Andésite à mésostase felsitique, plagioclases albitisés, pyroxènes chloritisés.
M43	P *	Diabase intersertale albito-chlorito-calcitique.
M44	P *	Andésite à mésostase felsitique, plagioclases albitisés, minéraux ferromagnésiens chloritisés.
M46	P	Andésite à mésostase felsitique, plagioclases albitisés, minéraux ferromagnésiens chloritisés et calcitisés.
M48	P *	Andésite à plagioclases albitisés, minéraux ferromagnésiens chloritisés.
M49	P *	Andésite à plagioclases albitisés, minéraux ferromagnésiens chloritisés.
M52	P *	Andésite à mésostase felsitique avec plagioclases albitisés et minéraux ferromagnésiens chloritisés.
M53	P *	Andésite à pâte felsitique grossière à plagioclases albitisés et minéraux ferromagnésiens calcito-chloritisés.
M75	P	Leucogranite à grain fin avec rares biotites altérées.

Provenance: M = signal de Montorsier

P = entre Palastre et le signal de Montorcier

Les échantillons analysés chimiquement sont marqués d'un "*".

Remarques concernant les structures des galets andésitiques: on observe une certaine homogénéité dans les structures de la grande majorité des galets; ils sont microporphyrifère avec un caractère sérielle (passage de petits phénocristaux à de gros microlites). Les phénocristaux de beaucoup les plus abondants sont des plagioclases, la masse de fond peut-être finement hyalopilitique, pilotaxique ou felsitique. Il ne paraît plus y avoir de verre.

sont assez homogènes, généralement microlitiques, plus rarement felsitiques (Table 1). Le second groupe pourrait éventuellement, être rattaché à des diabases d'un complexe ophiolitique. Un caractère frappant est l'altération de ces galets qui, macroscopiquement, présentent pourtant un aspect assez frais. Le plagioclase est souvent albitisé et les éléments ferromagnésiens (augite et hornblende) chloritisés à de rares exceptions près.

On peut cependant mettre en évidence deux types distincts d'altération. Dans le premier, observé surtout dans les échantillons provenant du signal de Montorcier, du plagioclase calcique zoné est souvent présent tandis que, dans le second, bien représenté dans l'affleurement situé sous le sommet du Palastre, l'albitisation est beaucoup plus marquée et les roches ont un caractère spilitique.

Aux galets de roches basiques, nous avons joint, aux fins de comparaison, trois galets de roches acides: deux granites et un leucogranite.

Chimisme et norme des échantillons

Lorsque la quantité de matière disponible était suffisante (Table 1), l'analyse des éléments majeurs a été réalisée par fluorescence X. L'eau a été dosée par la méthode de Penfield; le CO₂, déduit de la perte au feu et le

Fe²⁺ dosé par colorimétrie. Nous avons laissé à des études ultérieures l'exploitation complète de ces résultats ainsi que ceux obtenus sur des éléments en trace non publiés dans ce travail. Nous nous contentons donc de donner les résultats pondéraux bruts et les deux diagrammes triangulaires classiques AFM et Na₂O-K₂O-CaO. Nous avons également ajouté les normes CIPW et ce malgré le degré de transformation (spilitisation) qui conduit parfois à des résultats peu significatifs (Plag de M44 au tableau 3).

Les deux types d'altérations mentionnés ci-dessus sont confirmés par les résultats des analyses chimiques (Table 2). Les valeurs brutes pondérales mettent en évidence la richesse en CO₂ et en CaO du premier groupe tandis que le second se distingue par des valeurs élevées en Na₂O et des valeurs basses en CaO. Ces différences se reflètent dans les normes CIPW (Table 3) où l'abondance en calcite, ainsi que les teneurs en anorthite du premier groupe, sont évidentes; en revanche, le second groupe se caractérise par l'abondance de l'albite, ce qui correspond à un plagioclase normatif variant de An 0 à An 20. Enfin, dans les deux diagrammes triangulaires de la Figure 3, les deux groupes s'individualisent en deux amas distincts.

On peut se demander dans quelle mesure les différences entre les groupes sont primaires ou

Tab. 2 Résultats pondéraux des analyses chimiques des roches basiques du Champsaur.

	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	H ₂ O	CO ₂	Somme
M 1	41.60	0.56	17.18	1.14	2.75	0.14	1.16	16.63	3.75	1.98	0.20	2.61	9.60	99.30
M 2	31.03	0.75	14.69	1.08	2.54	0.54	1.27	24.50	2.53	1.21	0.18	2.77	16.03	99.12
M 15	44.21	0.58	17.51	2.62	2.61	0.16	2.33	12.79	4.39	1.74	0.22	3.34	7.23	99.73
M 16	53.24	1.15	16.66	5.81	3.42	0.19	4.27	5.89	3.73	0.34	0.15	3.71	0.84	99.40
M 19	45.43	0.78	18.06	3.32	4.23	0.21	2.85	9.25	5.15	0.92	0.25	4.41	4.36	99.22
M 30	53.71	0.55	16.52	2.98	2.02	0.16	1.36	9.87	3.56	1.57	0.18	2.61	4.30	99.39
M 40	51.43	0.69	19.02	2.61	6.34	0.12	6.21	1.50	5.86	0.70	0.22	4.71	0.41	99.82
M 42	58.03	0.54	17.26	2.34	4.72	0.11	4.97	1.66	5.63	0.55	0.09	3.94	0.63	100.47
M 43	44.26	3.74	17.57	3.42	7.01	0.13	6.44	4.39	4.70	0.53	1.42	5.08	0.45	99.14
M 44	49.75	0.89	19.26	3.40	6.06	0.12	6.01	1.83	5.65	0.70	0.32	3.73	1.38	99.10
M 48	50.97	0.68	19.08	3.26	5.94	0.12	6.00	1.49	5.97	0.65	0.24	4.60	0.32	99.32
M 49	62.55	0.63	16.93	1.95	2.99	0.07	2.90	1.31	5.26	1.31	0.20	3.07	0.15	99.32
M 52	48.37	0.79	19.37	3.19	6.58	0.12	7.14	1.51	5.11	0.90	0.20	5.90	0.00	99.18
M 53	61.02	0.59	16.30	1.92	4.01	0.09	3.76	1.68	4.92	1.00	0.18	3.49	0.17	99.13

Tab. 3 Normes C.I.P.W. des roches basiques du Champsaur.

	M1	M2	M15	M16	M19	M30	M40	M42	M43	M44	M48	M49	M52	M53
Quartz	0.1	0.0	0.6	16.0	0.0	15.8	0.0	11.4	0.0	2.8	0.0	19.4	0.0	18.1
Orthose	11.7	7.2	10.3	2.0	5.4	9.3	4.1	3.3	3.1	4.1	3.8	7.7	5.3	5.9
Albite	31.7	21.4	37.2	31.6	43.6	30.1	49.6	47.6	39.8	47.8	50.5	44.5	43.2	41.6
Anorthite	20.5	19.0	16.3	22.9	16.7	20.6	3.4	3.7	9.7	0.0	3.8	4.2	6.2	6.1
Corindon	1.4	2.2	2.4	1.8	2.5	1.4	7.4	6.1	5.7	9.8	7.2	5.3	7.7	4.9
Hypersthène	6.3	6.5	7.8	10.6	6.1	4.0	24.0	18.4	17.5	22.0	21.7	10.2	19.2	14.3
Olivine	0.0	0.1	0.0	0.0	3.7	0.0	0.0	0.0	1.9	0.0	0.4	0.0	5.0	0.0
Magnétite	1.7	1.6	3.8	8.3	4.8	4.3	3.8	3.4	5.0	4.9	4.7	2.8	4.6	2.8
Ilménite	1.1	1.4	1.1	2.2	1.5	1.0	1.3	1.0	7.1	1.7	1.3	1.2	1.5	1.1
Apatite	0.5	0.4	0.5	0.4	0.6	0.4	0.5	0.2	3.3	0.7	0.6	0.5	0.5	0.4
Calcite	21.8	36.5	16.4	1.9	9.9	9.8	0.9	1.4	1.0	3.1	0.7	0.3	0.0	0.4
Plag (An)	39	47	31	42	28	41	6	7	20	-4	7	9	13	13

secondaires et, dans ce cas, proviendraient d'une altération ou d'un métamorphisme ultérieurs. Nous préférons la seconde hypothèse, mieux compatible avec la composition relativement homogène de toutes les roches andésitiques. Dans cette hypothèse, où cette altération a-t-elle pris place? Soit elle s'est produite in situ, elle correspond alors à un métamorphisme de faible intensité tel qu'il a été mis en évidence dans l'ensemble des grès de Taveyanne et dans certains grès du Champsaur (MARTINI et VUAGNAT, 1965; MARTINI, 1968), soit elle est antérieure à l'érosion des coulées qui ont alimenté les conglomérats. Dans ce cas, il s'agirait plutôt de phénomènes d'altération superficielle ou hydrothermale. Nous ne disposons pas d'argument permettant de répondre à ces questions. Remarquons que dans les grès de Taveyanne du massif de Platé (MARTINI, 1968), les grauwackes à plagioclases calciques conservés sont, eux aussi, riches en calcite (marges calcitisées).

Il faut encore noter que les galets de roches acides (granites), tirés des mêmes affleurements, paraissent beaucoup plus frais que les galets andésitiques, bien que leur âge soit plus élevé.

Données géochronométriques: détails analytiques

Les teneurs en potassium sont mesurées par absorption atomique sur un spectromètre Pye Unicam SP1900. Le $\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$ est utilisé comme tampon pour éliminer les effets d'interférence et d'ionisation. Les dosages sont répétés deux fois.

L'analyse isotopique de l'argon est menée en mode statique suivant un protocole décrit par DELALOYE et WAGNER (1974). Son dosage est réalisé selon la technique de dilution isotopique (traceur Schumacher, Berne). Le traceur a été calibré à l'aide du standard interlaboratoire HD-B1, biotite de la granodiorite du Bergell (FUHRMANN et al., 1986). Les mesures sont effectuées sur un spectromètre de masse «on line» AEI MS10S, équipé d'un aimant permanent de 4100 Gauss. Les mesures sont conduites et les résultats sont traités au moyen d'un PC AT Olivetti M28 «on line».

Les détails analytiques et de traitement des résultats ont été décrits précédemment (FONTIGNIE, 1980).

La taille et la structure pétrographique des échantillons n'ont pas permis de procéder à des séparations de minéraux. Les analyses ont donc porté sur les roches totales.

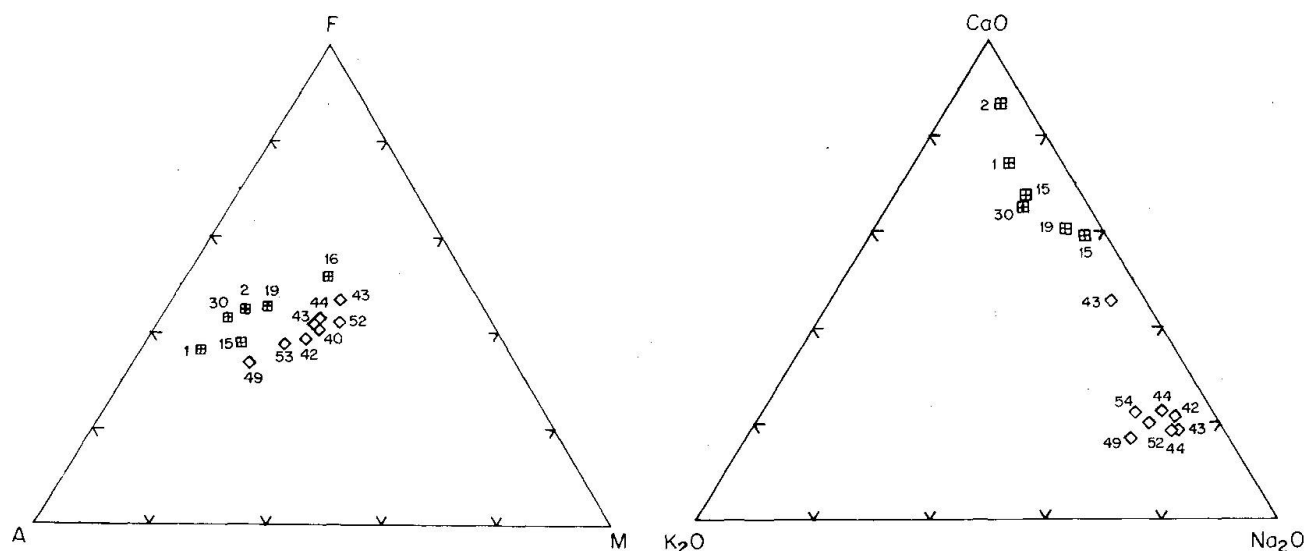


Fig. 3 Diagrammes AFM et K_2O - CaO - Na_2O des roches basiques du Champsaur. Les échantillons extraits du conglomérat de Montorcier sont indiqués par « \boxplus », ceux entre Montorcier et le Palastre par « \diamond ».

Résultats géochronométriques et discussion

Les résultats des analyses K-Ar sont rassemblés dans la Table 4 et les analyses des roches basiques reportées sur le diagramme $^{40}Ar/^{36}Ar$ - $^{40}K/^{36}Ar$ de la figure 4.

Des âges apparents élevés, alors que les teneurs en potassium sont grandes, distinguent immédiatement les roches acides des roches basiques.

La présence de roches d'âges radiométriques élevés confirme que le métamorphisme n'a pas été d'un degré suffisant pour avoir ré-initialisé tous les systèmes potassium-argon.

Les résultats géochronométriques, en particulier les âges individuels, varient dans une large gamme: de 30 à 91 Ma. Cependant, il y a une corrélation très significative ($r = 0.9346$, $n=18$) entre les rapports $^{40}Ar/^{36}Ar$ et $^{40}K/^{36}Ar$. Cette corrélation est grandement améliorée en ne tenant pas compte de M16 et de M28, les échantillons présentant les âges extrêmes. Le groupe présente alors une homogénéité remarquable, témoignant ainsi d'un caractère cogénétique marqué. En effet, le coefficient de corrélation linéaire est alors égal à 0.9655 ($n = 16$) alors que la gamme des âges apparents ne varie que de 35 à 47 Ma.

La discussion du caractère cogénétique peut être menée en faisant appel à une méthode de calcul tridimensionnel (FONTIGNIE et DELALOYE, 1983). Dans cette méthode, les points représentatifs d'échantillons de même âge, de

même contamination en argon (échantillons possédant les mêmes e_{36}^{40} , c'est-à-dire dont les rapports isotopiques ^{40}Ar non radiogénique / ^{36}Ar sont identiques) et analysés dans des conditions proches (= blanc identique), s'alignent dans un plan repéré dans un espace défini par le trièdre trirectangle constitué par les paramètres suivants: la quantité de ^{40}K intervenue dans l'analyse ($P^{40}K$) et les deux rapports $^{40}Ar/^{38}Ar$ (M_{38}^{40}) et $^{36}Ar/^{38}Ar$ (M_{38}^{36}) mesurés. Ces paramètres sont normalisés et corrigés des effets de fractionation du spectromètre ainsi que des variations du traceur.

De l'équation du plan, on tire l'âge et le rapport e_{36}^{40} . Quant au caractère cogénétique, il est apprécié à partir de critères géométriques estimés, notamment, par le coefficient de corrélation multiple. Cette méthode tridimensionnelle présente l'avantage d'être indépendante des problèmes liés à une connaissance insuffisamment précise des caractéristiques du blanc et du traceur. Ces problèmes sont particulièrement importants lorsque les échantillons étudiés sont pauvres en potassium.

Une bonne visualisation du nuage de points est obtenue à partir de sa projection sur les axes propres (Remarque 1, en annexe). Les projections pour les échantillons de roches basiques du Champsaur sont présentées aux Figures 5.A (axes propres 1 et 2) et B.5 (axes propres 2 et 3). L'analyse des composantes principales des échantillons repérés dans l'espace tridimensionnel décrit ci-dessus a été faite sur la matrice

Tab. 4 Résultats des analyses potassium-argon.

Ech.	K	Age	$^{40}\text{Ar}_{\text{rad}}/\text{g}$	$^{40}\text{Ar}_{\text{rad}}$	$^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$	$^{40}\text{K}/^{36}\text{Ar}$	M_{38}^{36}	$P \cdot ^{40}\text{K}$	M_{38}^{40}
	%	Ma	10^{-9}	%		10^4	10^{-2}	10^2	
Roches basiques									
M1	1.91	35.1 ± 1.2	0.1173	31.9	433.8	6.723	0.126	0.776	0.541
M2	1.00	41.7 ± 1.5	0.0731	21.5	376.4	3.304	0.602	1.841	2.248
M15	1.56	37.6 ± 1.6	0.1028	33.2	442.7	6.667	0.104	0.635	0.455
M16	0.26	91.5 ± 4.6	0.0430	25.6	397.2	1.863	0.312	0.535	1.228
M19	0.76	41.1 ± 1.6	0.0548	31.7	432.4	5.664	0.296	1.542	1.269
M21	2.21	35.3 ± 1.5	0.1366	44.0	527.7	11.214	0.131	1.347	0.684
M28	1.89	29.6 ± 1.6	0.0977	33.3	443.3	8.532	0.195	1.530	0.857
M30	1.37	37.7 ± 1.4	0.0904	35.0	454.9	7.210	0.168	1.114	0.758
M34	1.19	36.3 ± 2.3	0.0757	32.9	440.7	6.812	0.155	0.969	0.675
M40	0.57	41.7 ± 2.5	0.0414	39.2	485.7	7.755	0.130	0.922	0.622
M42	0.43	47.9 ± 2.1	0.0363	29.1	417.0	4.307	0.177	0.702	0.732
M43	0.46	61.9 ± 2.3	0.0505	18.8	363.7	1.863	0.437	0.752	1.577
M44	0.58	47.5 ± 1.6	0.0484	34.4	450.4	5.538	0.185	0.944	0.826
M46	0.40	46.5 ± 1.7	0.0325	36.2	463.2	6.125	0.115	0.648	0.527
M47	0.90	38.4 ± 1.5	0.0605	43.6	524.3	10.156	0.196	1.830	1.015
M48	0.56	43.1 ± 2.1	0.0420	35.3	456.7	6.364	0.193	1.133	0.873
M49	1.05	38.6 ± 1.5	0.0710	42.3	512.0	9.561	0.122	1.069	0.616
M52	0.74	43.2 ± 1.8	0.0561	36.2	463.4	6.607	0.247	1.507	1.135
M53	0.82	36.1 ± 1.6	0.0519	42.6	515.2	10.355	0.175	1.670	0.892
Roches acides									
M7	2.65	260.2 ± 8.2	1.2865	82.7	1705.4	8.668	0.136	1.077	2.283
M32	3.26	180.7 ± 5.6	1.0746	76.9	1280.5	8.918	0.243	1.991	3.076
M75	3.90	122.3 ± 3.9	0.8555	79.8	1464.3	15.903	0.164	2.401	2.372

$$\lambda_{\beta} = 4.962 \cdot 10^{-10} \text{ a}^{-1}; \quad \lambda_{\epsilon} = 0.581 \cdot 10^{-10} \text{ a}^{-1}$$

$$^{40}\text{K}/\text{K}_{\text{tot}} = 1.167 \cdot 10^{-4} \text{ mole/mole (Steiger et Jäger, 1977).}$$

L'erreur indiquée pour les âges apparents correspond à 1 écart type.

de corrélation. Les trois axes propres «portent» respectivement 74.4, 25.5 et 0.1% de la variabilité totale. Le nuage de points correspond donc à un ellipsoïde allongé, de très petite épaisseur.

Bien que l'analyse de grappes (Remarque 2, en annexe) apporte certaines informations, il n'y a pas de démarche systématique permettant de fixer le nombre de sous-groupes présents dans une collection, c'est-à-dire de moyen permettant de définir des seuils au-dessous desquels les sous-groupes sont, à des degrés choisis, homogènes et distincts entre eux. «Groupe homogène», dans notre cas, signifie groupe constitué d'échantillons de même âge et dont l'argon de contamination présente les mêmes caractéristiques isotopiques.

Pour les roches basiques des grès du Champsaur, plusieurs hypothèses sur le

nombre de groupes et leur homogénéité peuvent être formulées. Examinons ces diverses hypothèses en faisant appel au dendrogramme de la Figure 6, une application de l'analyse de grappes aux coordonnées de l'espace tridimensionnel décrit plus haut.

Hypothèse 1: Le groupe de roches basiques est homogène.

Dans l'analyse de grappes, cette hypothèse revient à fixer le seuil au-dessous duquel les groupes sont homogènes à un niveau supérieur à l'ordonnée de la dernière connexion.

Les faibles connexions à l'intérieur de sous-groupe 1 (Figure 6) et, dans l'espace tridimensionnel (Figures 5.A et 5.B), les positions singulières des quatre échantillons constituant le sous-groupe infirment cette hypothèse. Les caractères pétrographiques inhabituels de M16, M28 et M43 (roches d'affinité diaba-

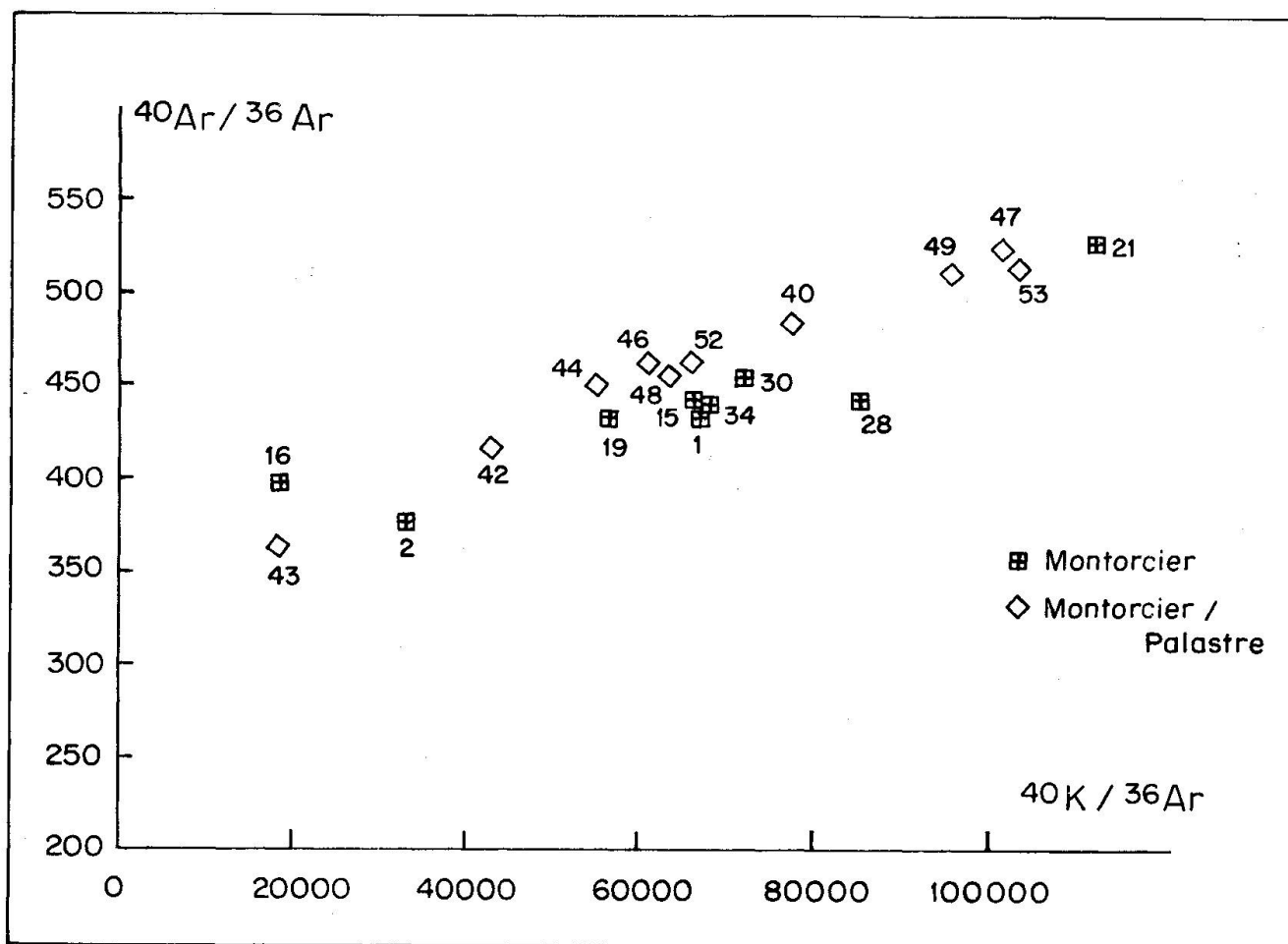


Fig. 4 Diagramme $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ - $^{40}\text{K}/^{36}\text{Ar}$ des roches basiques du Champsaur.

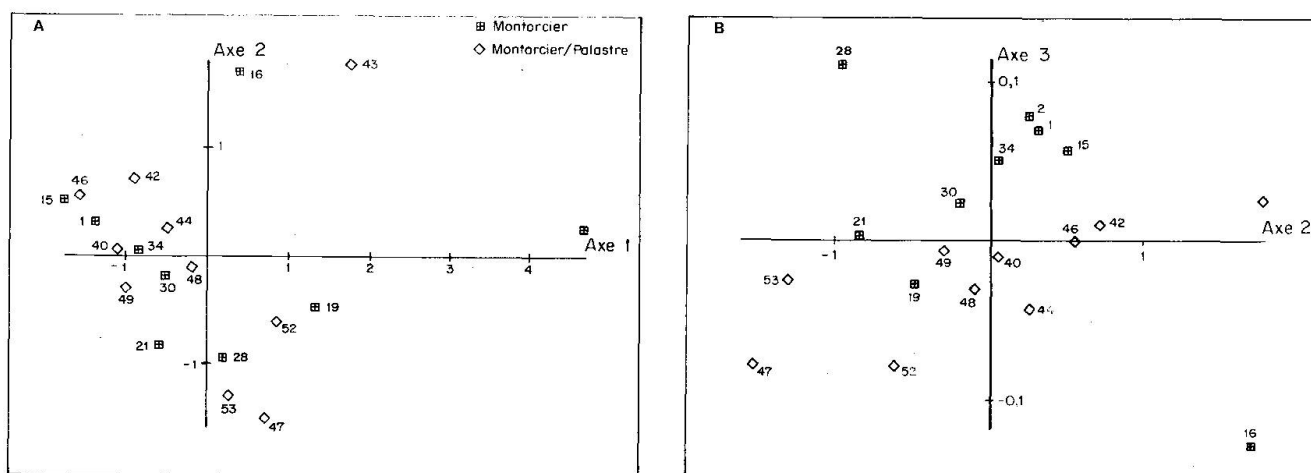


Fig. 5 Analyse des composantes principales: projections sur les axes principaux 1&2 (A) et 2&3 (B) des résultats radiométriques des roches basiques du Champsaur repérées dans l'espace M_{38}^{36} , M_{38}^{36} et $P^{40}\text{K}$.

sique) ainsi que la très forte calcitisation de M2 laissaient pressentir cette conclusion.

Hypothèse 2: L'ensemble, exception faite des quatre échantillons cités ci-dessus, est homogène.

Selon cette hypothèse, le seuil critique se situerait toujours au-dessus de la dernière connexion mais le très hétérogène sous-groupe 1 est exclu.

La valeur élevée du coefficient de corrélation multiple (Table 5B), calculé à partir des quinze échantillons restant, plaide en faveur d'une certaine homogénéité du groupe.

Le calcul indique une suppression d'argon significative (341 ± 13) et donne un âge de 32 ± 3 Ma. Toutefois, l'importance de l'erreur estimée sur l'âge indique que le degré d'homogénéité du groupe est assez faible et incite à préférer l'hypothèse suivante.

Hypothèse 3: Il y a deux groupes homogènes distincts.

Dans cette hypothèse, le seuil critique est abaissé entre les deux dernières connexions de l'analyse de grappes et conduit à distinguer deux sous-groupes. Les coefficients de corrélation multiple, calculés pour les deux sous-groupes, sont très significatifs et cautionnent l'hypothèse.

Cependant, les effectifs trop réduits des sous-groupes, ainsi que les faibles variabilités à l'intérieur de ces dernières, ne permettent pas de confirmer définitivement par des âges statistiquement différents la réalité de cette hypothèse car les résultats sont accompagnés de trop grandes incertitudes. Les rapports e_{36}^{40} calculés pour les deux sous-groupes sont significativement différents du rapport observé dans l'argon atmosphérique. Toutefois, en raison de l'importance des erreurs accompagnant ces rapports, les valeurs de ces derniers ne peuvent être précises. Comme les résultats e_{36}^{40} , calculés pour les deux sous-groupes, sont proches et comme ce même rapport calculé en réunissant les deux sous-groupes (Hypothèse 2) est accompagné d'une erreur très petite, on peut admettre que les deux rapports de contamination sont très semblables et que la valeur obtenue sous l'hypothèse 2 en est une bonne estimation.

On sait que des âges calculés sans correction d'une éventuelle suppression sont des âges trop grands car les quantités d'argon radiogénique sont surestimées. Nous pouvons donc fixer les âges extrêmes des deux sous-groupes, âges certainement surestimés puisqu'il y a suppression.

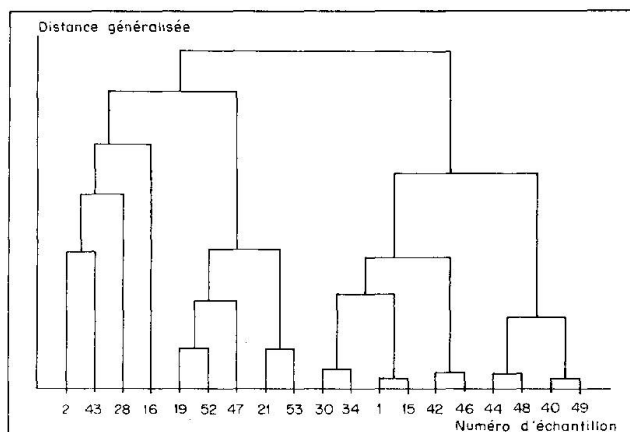


Fig. 6 Analyse des grappes. Dendrogramme selon la méthode de simple connexion, mesure des distances généralisées. L'analyse porte sur les résultats isotopiques (M_{38}^{40} et $P^{40}K$) des roches basiques du Champsaur.

En forçant les isochrones à passer par le rapport $^{40}Ar/^{36}Ar$ de l'argon atmosphérique (COOPER, 1969), on obtient deux âges: 40.2 ± 1.3 Ma pour le sous-groupe 2 et 37.6 ± 1.3 Ma pour le sous-groupe 3.

Dans l'état d'avancement de ce travail, il n'est pas possible de mieux caractériser les deux sous-groupes et, notamment, d'essayer de discuter leurs âges minimums. Il n'est pas non plus possible de discuter de l'homogénéité de groupes de taille plus réduite.

Hypothèse 4: Il n'y a pas de réelle homogénéité.

Cette hypothèse est en trop grande contradiction avec les hauts degrés de signification des tests pour être acceptée. Ainsi, malgré l'importance et les natures différentes des altérations, les inévitables ouvertures ayant affecté les systèmes potassium-argon ont dû être symétriques puisqu'à une homogénéité pétrographique et chimique correspond une homogénéité des résultats radiométriques.

Conclusions

Bien que fragmentaire, cette étude nous permet cependant de tirer quelques conclusions et d'avancer quelques hypothèses.

Notons tout d'abord que les roches volcaniques intermédiaires ou basiques observées se partagent en deux groupes pétrographiques: l'un, bien représenté, est formé d'andésites basaltiques; l'autre, quantitativement plus mo-

Tab. 5 Constitution des sous-groupes (A), âges et e_{36}^{40} (B) des roches basiques du Champsaur selon divers regroupements. Les erreurs sont données à 1 écart type.

Sous-groupe 1: M2, M16, M28, M43.

Sous-groupe 2: M19, M21, M47, M52, M53.

Sous-groupe 3: M1, M15, M30, M34, M40, M42, M44, M46, M48, M49.

Groupe	n	Age (Ma)	e_{32}	r	Age ($e_{32} = 295.5$)
Sous-groupes 1&2&3	19	26.0 ± 3.8	325 ± 8	0.9967	
Sous-groupes 2&3	15	31.9 ± 2.9	341 ± 13	0.9970	
Sous-groupe 2	5		337 ± 17	0.9976	37.6 ± 1.3
Sous-groupe 3	10		354 ± 26	0.9902	40.2 ± 1.3

deste, de galets à structures rappelant celles de diabases.

Le groupe des andésites présente une certaine homogénéité, en particulier des structures microporphyriques très semblables. Il est intéressant de remarquer que, dans le secteur entre Arve et Giffre, les galets suffisamment volumineux pour être analysés semblent également provenir de laves présentant un type homogène de structure (MARTINI, 1968).

Dans le Champsaur, deux types d'altération ont été mis en évidence: dans l'un, il y a eu forte calcitisation avec conservation partielle des plagioclases calciques zonés; dans l'autre, il y a eu albitisation conduisant à des roches spilitiques. Dans les deux cas, les minéraux ferromagnésiens sont mal conservés. Il n'est actuellement pas possible de préciser si ces transformations sont le produit d'une altération sensu stricto ou d'un métamorphisme de faible intensité. Notons encore que les minéraux typiques de ce métamorphisme (laumontite, pumpellyite, préhnite) n'ont pas été observés, bien que certains d'entre eux aient été signalés ailleurs dans les grès du Champsaur (MARTINI et VUAGNAT, 1965).

Les résultats géochronométriques permettent, tout d'abord, d'exclure les laves triasiques de couverture du Pelvoux comme étant à l'origine des galets de roches basiques ou andésitiques. Les débris volcaniques des grès sont certainement des produits d'un volcanisme d'âge alpin.

Les deux roches présentant des affinités diabasiques se distinguent des roches andésitiques par des âges notablement plus grands. Rappelons que des différences d'âge très marquées entre les matériaux andésitiques et diabasiques ont été observées dans les galets des conglomérats des grès du val d'Ille du synclinal de

Thônes (FONTIGNIE, 1980). Il se confirme donc que ces deux types de manifestation volcanique sont, chronométriquement, très distincts.

Quant aux galets d'andésites basaltiques, l'hypothèse la plus probable est qu'ils forment au moins deux groupes d'âge légèrement différents. En raison de la présence d'une surpression d'argon, les âges des deux groupes de même que la différence entre ces âges ne peuvent être précisés. Seuls les âges maximums peuvent être avancés: 37.2 ± 1.3 Ma et 40.3 ± 1.3 Ma. En l'état actuel, il n'est pas possible de fixer de limite radiométrique inférieure. Cette limite ne peut être de beaucoup inférieure à l'âge stratigraphique du grauwaacke car le métamorphisme ultérieur a été de faible degré.

En ce qui concerne l'origine de la surpression, deux hypothèses peuvent être avancées. La première admet une composition anormale en argon: lors de leur sédimentation, les débris volcaniques contenaient de l'argon commun, le léger métamorphisme ultérieur aurait fractionné cet argon, provoquant ainsi une augmentation du rapport $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ (FONTIGNIE, en préparation). La seconde hypothèse admet une composition anormale en potassium: l'altération qu'ont subi les débris volcaniques les aurait appauvris en potassium mais n'aurait pas eu d'effet majeur sur leur teneur en argon. Il nous semble cependant douteux qu'une altération puisse provoquer le départ de cations chimiquement très réactionnels tout en maintenant des atomes inertes alors que ceux-ci occupent des sites cristallographiquement équivalents.

L'âge de la sédimentation des grès du Champsaur, tout comme celui des grès de Tavayanne, est soumis à une double indétermination: l'âge stratigraphique exact et la correspondance radiométrique de celui-ci. D'une

part, en raison de la rareté des fossiles et de leur fréquent remaniement, l'âge stratigraphique des grès n'est pas fixé définitivement. La conjecture la plus probable est de les mettre au sommet de l'Eocène ou à la limite Eocène-Oligocène. Les grès du Val d'Ille, considérés comme étant légèrement plus jeunes que les grès de Taveyenne, sont datés du Lattorien (VUAGNAT, 1952), étage placé maintenant dans l'Eocène terminal (CAVELIER et POMEROL, 1986) alors qu'il était situé auparavant à la base de l'Oligocène.

D'autre part, l'âge radiométrique de la limite Eocène-Oligocène reste très discuté. HARDENBOL et BERGGREN (1978) la fixent à 37 Ma, CURRY et ODIN (1982) à 34 Ma (+2, -1), valeur confirmée par HARRIS (1982) avec un âge de 34.8 Ma (± 1.0); alors que PALMER (1983) le situe à 36.3 Ma, CAVELIER et POMEROL (1986) adoptent l'âge de 35.7 Ma, âge correspondant à la base de l'anomalie magnétique 13 (MONTANARI et al., 1986). Remarquons encore que la définition stratigraphique de la limite Eocène-Oligocène est également sujette à controverse (POMEROL, 1978).

Les relativement faibles différences entre l'âge stratigraphique des grès et les âges maximums des andésites indiquent que les débris volcaniques sont les produits de manifestations de peu antérieures à subcontemporaines de la sédimentation. Une conclusion équivalente a été obtenue pour les galets andésitiques des conglomérats des grès du Val d'Ille du synclinal de Thônes (FONTIGNIE, 1980).

Il n'est cependant pas possible de mieux préciser les différences d'âge et donc de mieux contribuer à résoudre les problèmes de l'origine et de la localisation du volcanisme ayant donné naissance aux andésites des grès de Taveyenne-grès du Champsaur. Selon l'importance de ces différences, deux hypothèses peuvent être avancées. Dans la première, elles sont négligeables, donc les andésites sont contemporaines de la sédimentation et le volcanisme s'est produit in situ. Dans la seconde, les différences sont plus importantes et on peut alors admettre que les débris volcaniques probablement polygéniques sont parvenus sous forme de nappes au bord du bassin de sédimentation des Flysch alors que les roches volcaniques ont été originellement mises en place dans une région plus interne. Ce modèle est plus compatible avec le caractère franchement sédimentaire des conglomérats, avec l'altération pous-

sée des roches volcaniques et aussi avec les différences d'âge pressenties entre les andésites.

La question de l'importance de la différence d'âge entre les andésites et la sédimentation des grès ne pourra être résolue qu'en multipliant le nombre de datations non plus seulement sur des roches totales mais aussi sur des concentrés de minéraux ayant mieux résisté à l'altération et également en améliorant les méthodes statistiques à disposition. Ce sont ces tâches auxquelles nous nous consacrons.

Annexes

Remarque 1: Axes propres et analyse des composantes principales.

Un groupe de points repérés dans un espace à n dimensions est inscrit dans un volume qui, généralement, peut être assimilé à un ellipsoïde décrit par n axes perpendiculaires (axes propres ou principaux). Le premier axe est celui qui «porte» la plus grande variabilité et, les suivants, la plus grande variabilité résiduelle.

L'analyse des composantes principales est une méthode d'analyse multivariée qui discute et exploite statistiquement ces axes propres (LE MAÎTRE, 1982).

Remarque 2: Analyse de grappes.

Dans cette méthode d'analyse multivariée, les distances entre échantillons ou groupes d'échantillons sont mesurées et les deux échantillons ou groupes les plus proches sont réunis (méthode de la simple connexion). Cette démarche est répétée jusqu'à ce que tous les échantillons soient rassemblés. Le résultat de ce travail est résumé dans un «dendrogramme», dans lequel échantillons et groupes sont réunis deux par deux. Les échantillons sont portés en abscisse sur une échelle arbitraire, les distances entre échantillons et/ou groupes sont portées en ordonnée sur une échelle relative. Deux groupes diffèrent d'autant plus que l'ordonnée de leur connexion est grande.

Plusieurs méthodes d'estimation des distances (euclidienne, généralisée, coefficient de corrélation, etc.) peuvent être employées. Dans cette analyse, nous avons préféré utiliser la distance généralisée (TATSUOKA, 1971) car cette mesure utilise des variables normalisées et elle tient compte des corrélations entre variables.

Remerciements

L'aide financière du Fonds national suisse de la Recherche scientifique (crédit 2.634-085) a été déterminante dans la réalisation des analyses chimiques et isotopiques.

Nous remercions Michèle Senn qui a fait les analyses chimiques et Sylvain Huon, les analyses géochronométriques.

Références

- BEUF, S. (1959): Contribution à l'étude géologique du Massif de Soleil Bœuf. Diplôme E.N.S.P.M., Grenoble.
- CAVELIER, C. and POMEROL, C. (1986): Stratigraphy of the Paleogene. *Bull. Soc. géol. France*, (8) 2, 255-265.
- COOPER (1969): *Statistics for Experimentalists*. Pergamon Press, Oxford / London / Edinburgh / New York / Toronto / Sydney / Paris / Braunschweig.
- CURRY, D. and ODIN, G.S. (1982): Dating the Paleogene. In: G.S. ODIN (Ed.): *Numerical Dating in Stratigraphy* (p. 607-630). John Wiley and Sons, Chichester / New York / Brisbane / Toronto / Singapore.
- DEBELMAS, J., KERCKHOVE, C., LEMOINE, M., VIALON, P., ARNAUD, H., CARON, C. et GIDON, M. (1979): *Alpes: Savoie et Dauphiné*. Masson, Paris / New York / Barcelone / Milan.
- DELALOYE, M. and WAGNER, J.-J. (1974): Potassium-Argon dating: an automatic equipment with digital output for computer processing. *C.R. Soc. Phys. Hist. nat. Genève* (n.s.), 9/1-3, 66-74.
- FONTIGNIE, D. (1980): *Géochronométrie potassium-argon: études théoriques et applications à des matériaux des flyschs des Alpes occidentales*. Thèse, Université de Genève.
- FONTIGNIE, D. and DELALOYE, M. (1983): Potassium-Argon Dating of Ophiolites: constraints on results and interpretations. *Ophioliti*, 8(3), 357-372.
- FUHRMANN, U., HESS, J.C. and LIPPOLT, H.J. (1986): HD-B1: A potential standard for K-Ar Chronometry. *Mitt. Geochronol. Univ. Heidelberg*, 209.
- GIRAUD, J.-D. (1983): *L'arc andésitique paléogène des Alpes occidentales*. Thèse, Université de Nice.
- HARDENBOL, J. and BERGGREN, W.A. (1978): A New Paleogene Numerical Time Scale. *Contributions to the Geologic Time Scale. AAPG, studies in geol.*, 6, 213-234.
- HARRIS, W.B. (1982): Rubidium-strontium glaucony ages, southeastern Atlantic Coastal Plain, USA. In: G.S. ODIN (Ed.): *Numerical Dating in Stratigraphy* (p. 593-606). John Wiley and Sons, Chichester / New York / Brisbane / Toronto / Singapore.
- LE MAÎTRE, R.W. (1982): *Numerical Petrology. Statistical Interpretation of Geochemical Data*. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam / Oxford / New York.
- MARTINI, J. (1968): Etude pétrographique des grès de Taveyanne entre Arve et Giffre (Haute-Savoie, France). *Bull. suisse Minéral. Pétrogr.*, 48, 539-654.
- MARTINI, J. et VUAGNAT, M. (1965): Présence du faciès à zéolites dans la formation des «grès» de Taveyanne (Alpes franco-suisse). *Bull. suisse Minéral. Pétrogr.*, 45, 281-293.
- MONTANARI, A., DRAKE, R., BICE, D., ALVAREZ, W., TURRIN, B.D. and DE PAOLO, D.J. (1986): Radiometric dating of the Eocene-Oligocene boundary at Gubbio, Italy. In: POMEROL, C. and PREMOLISILVA (Eds.): *Terminal Eocene Events. Developments in Paleontology and stratigraphy*, 9. Elsevier, Amsterdam.
- PALMER, A.R. (1983): The Decade of North American Geology time-scale. *Geology*, 11, 503-504.
- POMEROL, C. (1978): Critical Review of Isotopic Dates in Relation to Paleogene Stratotypes. *Contributions to the Geologic Time Scale. AAPG, studies in geol.*, 6, 235-245.
- DE QUERVAIN, F. (1928): Zur Petrographie und Geologie der Taveyannaz-Gesteine. *Bull. suisse Minéral. Pétrogr.*, 8, 1-86.
- SAWATZKY, G.G. (1975): Etude géologique et minéralogique des flyschs à grauwaackes volcaniques du Synclinal de Thônes (Haute-Savoie, France). *Arch. Sci. (Genève)*, 28/3, 265-368.
- STEIGER, R.H. and JÄGER, E. (1977): Subcommission on geochronology: Convention on the use of decay constants in geo- and cosmochemistry. *Earth and planet. Sci. Lett.*, 36, 359-362.
- TATSUOKA, M.M. (1971): *Multivariate Analysis: technique for educational and psychological Research*. John Wiley and Sons, New York / London / Sidney / Toronto.
- VUAGNAT, M. (1952): Pétrographie, répartition et origine des microbrèches du Flysch nordhelvétique. *Matér. Carte géol. Suisse*, 97^e livr., N.S., 1-103.
- VUAGNAT, M. (1983): Les grès de Taveyanne et roches similaires: vestige d'une activité magmatique tardi-alpine. *Mem. Soc. géol. ital.*, 26/1, 39-53.

Manuscrit reçu le 5 mai 1987, manuscrit révisé accepté le 30 juin 1987.