

Zeitschrift: Schweizerische mineralogische und petrographische Mitteilungen =
Bulletin suisse de minéralogie et pétrographie

Band: 44 (1964)

Heft: 2

Artikel: Mesures d'âges sur les zircons de quelques roches des Alpes

Autor: Pasteels, Paul

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-34347>

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: 27.01.2026

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

Mesures d'âges sur les zircons de quelques roches des Alpes

Par *Paul Pasteels* (Bruxelles)¹⁾

Avec 1 figure dans le texte

Résumé

On a appliqué la technique de dilution au moyen d'isotopes stables à la mesure d'âge de zircons de roches appartenant à diverses unités des Alpes suisses et italiennes.

Un âge hercynien est établi pour le granite du Grimsel, et confirmé pour les granites central de l'Aar, de Mittagfluh, de Baveno-Monte Orfano et d'Habkern. La mise en place d'un orthogneiss de la nappe de la Silvretta s'est opérée au paléozoïque inférieur ou moyen. Un paragneiss de la même unité tectonique contient des zircons détritiques âgés de plus de 1300 m. a.

Pour les zircons du granite du Monte Orfano, riche en enclaves énallagènes, la mesure de l'âge, déduite du rapport Pb 207/Pb 206 donne une valeur trop élevée; la présence dans cette roche de zircons réincorporés à partir des roches encaissantes est vraisemblable et peut expliquer cet effet.

Le granite central de l'Aar, sa variété mélancrate Grimsel et le granite associé Mittagfluh illustrent un nouveau cas où la perte de plomb est fonction directe de la teneur en U, et de la proportion de zircons troubles. La teneur en U est elle-même fonction de la nature plus ou moins leucocrate de la roche.

Abstract

Age measurements of zircon samples from various tectonical units of the Swiss and Italian Alps were made by stable isotope dilution.

For the Aare granites serie: Grimsel, Aare, Mittagfluh, an Hercynian age is settled or confirmed. The Hercynian age of Baveno-Monte Orfano and Habkern granites is confirmed. An orthogneiss from the Austro alpine Silvretta nappe

¹⁾ Aspirant du Fonds National Belge de la Recherche Scientifique, Service de Géologie et Géochimie Nucléaires de l'Université Libre de Bruxelles.

intruded during lower or middle Paleozoic time. A paragneiss from the same tectonical unit contains detrital zircon older than 1300 m. y.

In the case of Monte Orfano granite, rich in xenoliths, $t_{207}/206$ is higher than the probable true age. This could be due to the presence of incorporated old zircons.

In the Aare granite serie, a relationship is observed between the amount of U present in the zircon and a) the more or less leucocratic nature of the rock, b) the abundance of altered (turbish) zircon, c) the relative importance of radiogenic lead loss.

Introduction

Les résultats présentés ici concernent des roches appartenant à diverses unités du bâti alpin, à l'exclusion de la zone pennique. Sur les mêmes échantillons ou sur des échantillons provenant de la même localité, des mesures Rb/Sr et K/A ont été faites par E. JÄGER et H. FAUL (1959), E. JÄGER, J. GEISS et al. (1961), E. JÄGER (1962), H. WÜTHRICH (1963).

Dans plusieurs régions des Alpes les mesures sur mica ont surtout mis en évidence l'importance de l'action métamorphique alpine. Il est bien établi que sous l'influence du métamorphisme, des pertes de plomb radiogénique peuvent se produire dans le zircon également (L. T. SILVER et S. DEUTSCH, 1961; L. T. SILVER, 1963). Mais, comme on le verra plus loin, cela se traduit par un „age pattern“ reconnaissable, et de toute manière, ces pertes n'ont pas l'importance des pertes de strontium et d'argon dans les micas, surtout dans la biotite. Pour ne citer qu'un exemple concernant les Alpes, la résistance du zircon a été bien mise en évidence par les mesures de M. GRÜNENFELDER (1962) sur des échantillons du massif du Gothard. Dans certaines zones où l'action métamorphique alpine a été moins importante, un métamorphisme hercynien a pu s'exercer sur des roches cristallines plus anciennes et on se retrouve dans une situation semblable.

Je tiens à exprimer mes remerciements les plus vifs à M. le Professeur E. PICCIOTTO, qui a dirigé ce travail, ainsi qu'à M. le Professeur E. NIGGLI, à qui je dois le choix des problèmes traités, et d'utiles indications. Je dois beaucoup aux conseils et à l'aide de E. JÄGER, S. DEUTSCH, D. LEDENT, R. DELWICHE, C. LAY et A. GIULIANI; que toutes ces personnes trouvent ici l'expression de ma gratitude. Pour la récolte des échantillons, j'ai pu profiter de la conduite du Professeur E. STRECKEISEN et du Dr E. JÄGER, et, pour la séparation du zircon, de l'hospitalité des Professeurs E. NIGGLI, à Berne, et L. CAHEN, à Tervuren.

Ce travail a pu être réalisé grâce à l'aide financière de l'Institut Interuniversitaire des Sciences Nucléaires. Une partie de l'équipement utilisé est la propriété de l'association EURATOM-U.L.B.-C.N.E.N., contrat n° 013-61-7 AGEC.

Méthodes analytiques et estimation des erreurs

A. Séparation et lavage du zircon

Les zircons ont été isolés par liqueurs denses et séparation magnétique, à partir d'un concentré lourd obtenu sur table Wilfley. Le concentré final de zircon après mesure de son activité α , a été débarrassé de la pyrite et de l'apatite par un lavage d'une heure à l'acide nitrique concentré et chaud (redistillé). Pour Baveno Pa 59/4 + Pa 60/2, ce traitement a été suivi d'un lavage de plusieurs heures à l'acide sulfurique (HOPKIN and WILLIAMS Pb < 0,005 ppm) destiné à éliminer la fluorine.

Après lavage à l'acide, les concentrés ne contenaient plus que 1,5 à 3% d'impuretés (surtout quartz, feldspath, fluorine, sphène), sauf *Mittag-fluh* qui contenait encore 4% de fluorine. Pour quelques échantillons on a procédé à une purification finale, manuelle, sous le binoculaire.

Une fraction de l'échantillon KAW 43 (Aar) a été broyée finement au mortier de „Diamonite“, puis lavée à l'eau régale durant plusieurs heures. On a cherché à éliminer ainsi une partie des inclusions, susceptibles de contenir du plomb „commun“ (v. annexe 3).

B. Mesures des concentrations en U et Pb

Les procédés expérimentaux diffèrent peu de ceux décrits par G. R. TILTON et al. (1957). Les étalons internes (spikes) ont été vérifiés à intervalles de 6 à 8 mois, par dilution isotopique. On a observé pour de tels laps de temps une variation de la concentration par évaporation, atteignant jusqu'à 2%. Pour KAW 43 (Aar), on a fait une mesure d'U avec l'étalon interne utilisé habituellement, et deux avec celui du California Institute of Technology que nous avons obtenu grâce à l'amabilité du professeur L. T. SILVER. Il n'y a pas de différence sensible entre les valeurs obtenues avec l'un ou l'autre „spike“.

Les „spikes“ ont été ajoutés au flux avant la fusion (sauf pour KAW 43, attaque 1, où le spike d'U a été ajouté à une aliquote de la solution totale). La mesure de la composition isotopique du plomb „non spiké“ doit dès lors se faire sur une prise séparée. Les concentrés de zircon ont été quartés soigneusement pour obtenir des prises aussi représentatives que possible. Pour la plupart des échantillons, on a fait en double, sur des prises distinctes, soit les mesures des concentrations en U ou en Pb radiogénique, soit les deux. Les résultats concordent à mieux de 2% sauf dans le cas de KAW 19 où les deux mesures de Pb diffèrent de 4%. On a estimé qu'une mesure de Pb ou de U était exacte à 2% près.

Pour le calcul des concentrations en Pb rad, et des t 206/238 et 207/235, on a utilisé la meilleure mesure de la composition isotopique du plomb non spiké, lorsque plusieurs ont été faites. Dans le cas de KAW 43, on a utilisé la mesure faite sur la prise n° 4, car la prise n° 5 a été traitée à l'eau régale.

Le niveau de contamination en plomb commun, introduit par les réactifs et les manipulations, est de $0,5 \cdot 10^{-6}$ gr. Cette valeur a été obtenue aussi bien sur les essais à blanc que sur des essais sur zircon (apparemment dépourvus de plomb commun). Toutefois on a observé dans quelques cas des contaminations accidentelles, plus élevées. Ainsi pour KAW 43 attaque n° 1, une contamination importante a été introduite lors de la fusion dans un four à creuset.

C. Spectrométrie de masse

Les analyses isotopiques d'U et de Pb ont été faites au moyen d'un spectromètre à angle de champ de 60° , rayon de courbure de 30 cm, source solide à filament simple, multiplicateur d'électrons. Cet appareil a été construit au laboratoire (M. REINHARZ, R. DELWICHE, J. KATZ, 1962).

Pour les mesures de plomb, on s'est servi de la technique à l'acide borique décrite par R. R. MARSHALL et D. C. HESS (1960).

La correction de masse a été estimée en comparant les mesures faites sur un même échantillon de plomb (galène de Kiseba) respectivement avec le multiplicateur et une cage de Faraday. Cette dernière mesure n'étant pas de très bonne qualité, on a utilisé aussi comme élément de comparaison la mesure du même échantillon faite à Berne (Be 31) (P. EBERHARDT et al., 1955). Dans les limites d'erreur, il y a accord entre la mesure de Berne, et celle que nous avons faite sans multiplicateur. Enfin, on a vérifié que, en appliquant la correction de masse, déterminée de cette manière, on retrouvait pour l'échantillon standard „shelf C.I.T.“, des proportions isotopiques en très bon accord avec les mesures des laboratoires suivants: California Institute of Technology, Carnegie Institute of Washington, U.S. Geological Survey. Pour les mesures de plomb reportées ici, la correction est de 7% par unité de masse.

Pour l'uranium, on n'a pas cherché à déterminer la correction de masse. La concentration de l'étalon interne a été déterminée par dilution isotopique. De cette manière, l'erreur introduite par la discrimination

de masse, sur les concentrations en U des échantillons est pratiquement éliminée²⁾.

On a vérifié que la précision des shunts de l'électromètre est de 0,25%, comme garanti par le constructeur. Il n'a pas été appliqué de correction de shunts.

Les erreurs expérimentales sur les rapports $207_{\text{rad}}/206_{\text{rad}}$ et les t correspondants, ont été calculées en prenant 2σ sur les rapports isotopiques mesurés (environ 30) et en additionnant les erreurs introduites, d'une part, par l'incertitude sur le rapport 204/206 et, d'autre part, l'incertitude sur le rapport 207/206. L'enregistrement se fait sans inversion de champ (1 pic par masse, par mesure, au lieu de 2, lorsque l'enregistrement est pris en „allez-retour“). Les 30 mesures (environ) ne peuvent pas être considérées comme indépendantes: l'erreur calculée est donc plus *faible* que celle qui correspondrait à un niveau de confiance de 95%.

Une erreur supplémentaire s'introduit lorsque la contamination en plomb commun est assez importante et que l'on n'a pas de bonne indication sur la composition isotopique de ce plomb (en particulier, sur son rapport 207/204). Le choix du plomb de correction utilisé dans chaque cas est justifié en annexe 3. On a admis que le rapport 207/204 de ce plomb est connu à $\pm 0,1$ près pour KAW 61, 43, 19 et Pa 59/4 + 60/2, 60/3, et à $\pm 0,2$ pour les autres échantillons. L'erreur supplémentaire introduite par cette incertitude est ajoutée à l'erreur calculée comme plus haut³⁾.

Dans plusieurs cas, on a fait plusieurs mesures de la composition isotopique du plomb (non spiké).

²⁾ Sauf dans le cas de rapports spike/échantillon défavorables, ce qu'on a cherché à éviter.

³⁾ L'incertitude sur les constantes de désintégration, particulièrement sur celle de U 235 entraîne une deuxième erreur supplémentaire, *systématique*, qui est de 2% environ sur t 207/235, et très importante sur t 207/206. On n'a pas inclu cette incertitude dans les marges d'erreurs sur les „âges“. L'erreur supplémentaire sur t 207/206 est indiquée dans la colonne de droite du tableau 3.

Certains auteurs incluent dans leur marge d'erreur cette incertitude supplémentaire. Si l'on veut comparer un résultat obtenu par la méthode au plomb à un résultat obtenu par une autre méthode géochronologique, ou à une échelle „absolue“, il faut tenir compte, notamment, de l'incertitude sur les constantes de désintégration. Il ne faut pas en tenir compte si l'on compare entre eux deux âges calculés avec la même constante: c'est pourquoi l'on peut dire que la différence entre les t 207/206 mesurés respectivement sur *Baveno* et sur *Monte Orfano*, est significative.

Tableaux des résultats

Les constantes de désintégration utilisées pour le calcul des âges sont les suivantes (L. R. STIEFF et al., 1959):

$$\lambda \text{ U}^{238} = 1,537 \cdot 10^{-10} \text{ a}^{-1}$$

$$\lambda \text{ U}^{235} = 9,72 \cdot 10^{-10} \text{ a}^{-1}$$

Remarque sur l'interprétation des „âges au plomb“, dans le cas des minéraux jeunes

Tous les résultats présentés au tableau 3 présentent le „pattern“, ou type de discordance $t \text{ } 206/238 < t \text{ } 207/235 < t \text{ } 207/206$. Dans les deux cas de KAW 61 et Pa 59/4 + 60/1, la discordance observée est faible, et on ne peut affirmer qu'elle correspond à quelque chose de réel.

Ce „pattern“ s'observe *dans la majorité des cas*, en ce qui concerne le zircon. Assez souvent, la discordance est faible; lorsqu'elle est importante, elle est presque toujours interprétée (d'après d'autres évidences),

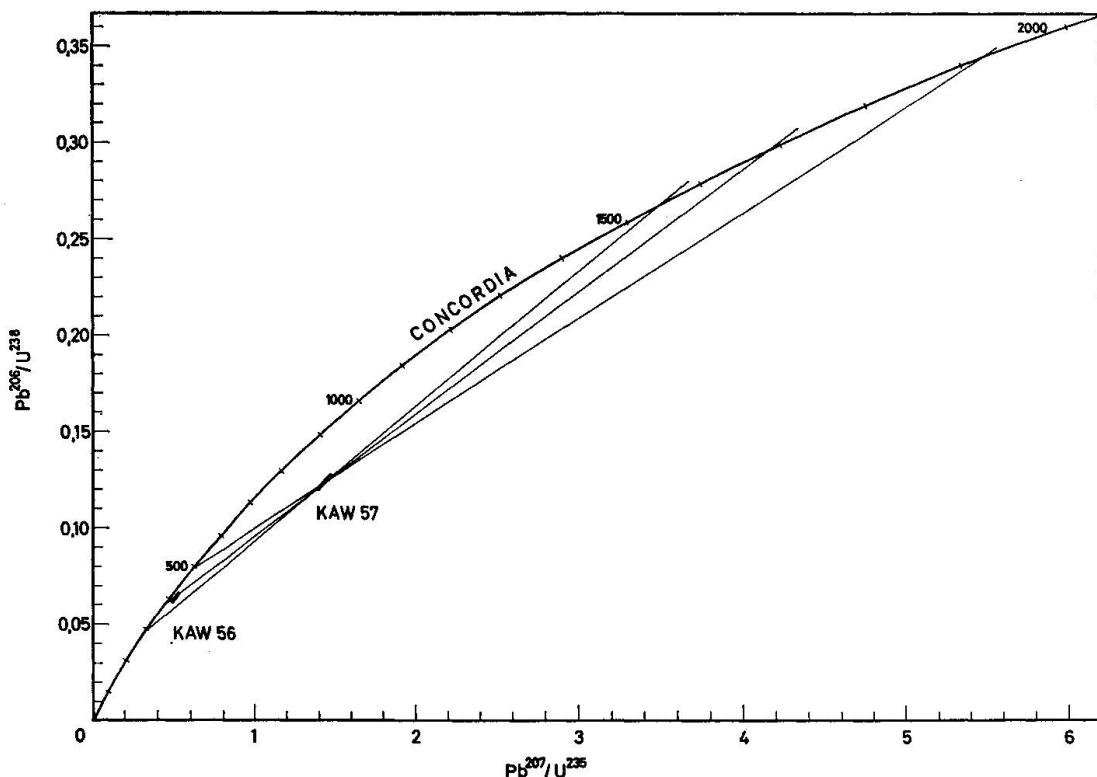


Fig. 1. Diagramme „Concordia“ exprimant les rapports atomiques $\text{Pb}^{206}\text{rad}/\text{U}^{238}$ en fonction du rapport atomique $\text{Pb}^{207}\text{rad}/\text{U}^{235}$. On a reporté les données expérimentales concernant KAW 56 et KAW 57 avec leurs marges d'erreur (aires noires).

La courbe „Concordia“ est le lieu de $t \text{ } 206/238 = t \text{ } 207/235$.

Tableau 1. Analyses isotopiques du plomb des zircons.

Roche	Référence	Attaque	204	206	207	208	Pb rad/Pb total en %	Notes
Granite du Grimsel	KAW 61	1	0,2604 ± 0,0010	100 0,015	9,108 ± 19,27	24,06 ± 46,74	85,5 57,5	(1) (4)
	KAW 43	1	0,955 0,202 ± 0,013	100 100 0,030	8,135 ± 18,01	57,5 88,2	(2) (4) (3) (4)	
Granite de l'Aar	3							
	4		0,356 ± 0,0034	100 100	10,529 ± 0,025	27,54 ± 0,07	80,9 88,2	(1) (4) (3)
Granite du Mittagfluh	KAW 19	1	0,361 ± 0,0065	100 100	8,178 ± 0,013	18,18 ± 0,03	79,8 84,0	(4) (1) (4)
	2		0,281 ± 0,0025		9,496 ± 0,027	20,92 ± 0,015		
Granite de Baveno	Pa 59/4 + Pa 60/2	1	0,2475 ± 0,0023	100 100	8,905 ± 0,016	22,05 ± 0,036	86,0 93,9	(5) (1) (5)
	4		0,1032 ± 0,0019		6,709 ± 0,017	17,65 ± 0,017		
Granite de Monte Orfano Pa 60/3		1	0,0754 ± 0,0011	100 100	6,518 ± 6,709 ±	10,84 ± 17,65 ±	95,2 93,9	(1) (5) (1) (5)
	KAW 25	1	0,307 ± 0,0030	100 100	9,784 ± 0,019	24,93 ± 0,042	83,1 98,0	(1) (5) (1) (5)
Orthogneiss de Flüela	KAW 56	1	0,0302 ± 0,00035		6,150 ± 0,011	4,373 ± 0,009		
	KAW 57	1	0,0418 ± 0,0005	100 0,015	8,993 ± 0,018	13,395 ± 97,5		

(1) Analyse isotopique utilisée pour le calcul de la concentration en Pb radiogénique et des âges 206/238 et 207/235. Pour le calcul de la concentration en Pb radiogénique on a utilisé un diagramme triangulaire 206–207–208.

(2) Echantillon contaminé accidentellement.

(3) Broyé, lavé à l'eau régale.

(4) Plomb de correction galène Grimsel Be 109 : 206/204 = 18,64; 207/204 = 15,82; 208/204 = 38,83.

(5) Plomb de correction : 206/204 = 18,6; 207/204 = 15,8; 208/204 = 38,9.

Tableau 2. Analyses isotopiques du plomb extrait des acides de lavage.

Référence	Acide de lavage	Minéraux dissous				Fraction radiogénique (1)	Pb rad/ Pb total en %
			204	206	207		
Roche							
Grimsel	KAW 61	nitrrique	pyrite	1	19,25	15,86	39,18
Baveno	Pa 59/4 + 60/2	nitrrique	apatite, sulfures, mineraï noir (?)	1	22,19	15,96	41,55
idem	sulfuri- que (2)	fluorine, mineraï noir	1,144 1	100 87,4	22,47 19,64	66,83 58,42	74,6 4,14 21,25 55,4

(1) En soustrayant au plomb total un plomb commun de composition 1 18,64, 15,82, 38,83 (Galène Grimsel, Be 109).

(2) Le concentré a été traité à l'acide sulfurique après traitement à l'acide nitrique.

Tableau 3. Mesures de U et Pb et âges radiométriques (en millions d'années).

Roche	Référence	Attaque	Uppm	Pbrad ppm	t 206/238	t 207/235	t 207/206	(3)
Granite du Grimsel	KAW 61	1 2	1290	56,9	273 ± 11	277 ± 15	315 ± 25	± 61
Granite de l'Aar	KAW 43	1 2 3 4 5 6	2033 2027 (1) (1)	2029	75,7	232 ± 8	239 ± 13	(230)
Granite de Mittagfuh	KAW 19	1 2 3 4	9760 9650	149 155	97 ± 4 104 ± 4	108 ± 6 115 ± 6	235 ± 90 350 ± 45	± 60 ± 61
Granite de Baveno	Pa 59/4 + Pa 60/2	1 2 3 4	2720	117	269 ± 11	273 ± 14	310 ± 35	± 61
Granite de Monte Orfano	Pa 60/3	1 2 3	1765	68,7 67,6	253 ± 9	266 ± 11	285 ± 27 385 ± 20	± 60 ± 62
Granite d'Habkern	KAW 25	1 2 3	1507 1502	50,6 50,6	210 ± 8 211 ± 8	218 ± 13 219 ± 13	310 ± 60	± 61
Orthogneiss de Flüela	KAW 56	1 2 3	1277	77,8 76,6	407 ± 13	421 ± 15	506 ± 11	± 64
Paragneiss de Flüela	KAW 57	1 2 3	530 531	67,7 68,4	756 ± 30 764 ± 30	912 ± 35 918 ± 35	1315 ± 10	± 79

(1) Spike „Pasadena“ (CIT). Pour toutes les autres analyses d'U, on a utilisé spike „Bruxelles“.

(2) Cette mesure a été éliminée à cause de la mauvaise résolution.

(3) Erreur supplémentaire sur t 207/206, introduite par l'incertitude sur les valeurs des constantes de désintégration (J. R. STIEFF et al., 1959).

Tableau 4. Ages K/A et Rb/Sr publiés par d'autres auteurs.

Roche	N° de référence	Minéral	Ages Rb/Sr	Ages K/A	Références
Granite de l'Aar	A 2	biotite		23	(1)
Granite de l'Aar	3	biotite	18,5 ± 2		(4)
Granite de l'Aar (faciès de bordure, éplitique)	4	roche totale	249 ± 40		(4)
Granite de Mittagfliuh	A 3	biotite			
	A 3 b	biotite			
	14	roche totale	193 ± 21		(3)
Granite de Mittagfliuh	2	roche totale	256 ± 22		(4)
Granite de Mittagfliuh	2	biotite	54 ± 3		(4)
	2	microcline	102 ± 8		(4)
	2	albite	2200 ± 250		(4)
Granite de Baveno	A 9	biotite			
Granite de Monte Orfano	A 8	biotite	269		(1)
	A 8 s	feldspath	268		(1)
		potassique			(2)
Granite d'Habkern	KAW 25	biotite	267 ± 11		(3)
Paragneiss de Flüela (Radönt)	KAW 57	biotite	306 ± 13		(2)
Orthogneiss de Frauenkirch *	KAW 55	muscovite	293 ± 12		(2)
		roche totale	356 ± 21		(3)
Rb 87:	$\lambda = 1,47 \cdot 10^{-11} \text{ a}^{-1}$	K 40:	$\lambda_B = 4,72 \cdot 10^{-10} \text{ a}^{-1}$	$\lambda_e = 0,585 \cdot 10^{-10} \text{ a}^{-1}$	

Références: (1) E. JÄGER et H. FAUL (1959).

(2) E. JÄGER, J. GEISS, E. NIGGLI, A. STRECKEISEN, E. WENK, H. WÜTHRICH (1961).

(3) E. JÄGER (1962).

(4) W. WÜTHRICH (1963).

* On n'a pas fait de mesure sur le zircon de cette roche. Il s'agit d'un autre orthogneiss appartenant à la même unité géologique (nappe de la Silvretta) que KAW 56. KAW 56 est un gneiss muscovitique, KAW 56 un gneiss à biotite.

comme étant le résultat d'une perte de plomb radiogénique (G. R. TILTON et al., 1957; G. R. TILTON, 1960; L. T. SILVER, 1963; etc.).

Rappelons que dans le cas théorique de perte de plomb, on a: $t_{206/238} < t_{207/235} < t_{207/206} \leq \text{âge réel}$; $t_{207/206}$ n'est égal à l'âge réel que si la perte de plomb est très récente⁴⁾.

Ces trois valeurs de t ne constituent que deux valeurs indépendantes: à partir de deux d'entre elles quelconques, on peut calculer la troisième. Pour les âges „jeunes“ (pour fixer les idées, inférieurs à 500 m. a.) $t_{206/238}$ et $t_{207/235}$ ont des valeurs assez voisines, même si $t_{207/206}$ est notablement plus élevé. Un exemple peut illustrer cette situation:

Un minéral uranifère qui *par hypothèse* est âgé de 300 m. a. et a perdu la moitié de son plomb il y a 0 m. a., présente des rapports $t_{206/238}$ etc. correspondant aux „âges“ $t_{206/238} = 152$ m. a.; $t_{207/235} = 161$ m. a., $t_{207/206} = 300$ m. a. Des mesures faites sur un tel minéral peuvent fort bien donner des résultats expérimentaux tels que: $t_{206/238} = 150 \pm 5$ m. a., $t_{207/235} = 155 \pm 10$ m. a., $t_{207/206} = 240 \pm 100$ m. a., résultats qui peuvent être interprétés comme suit: l'âge du minéral serait de 150 m. a., il n'y aurait pas eu de perte de plomb, la discordance étant due aux erreurs expérimentales. Conclusion très erronée à laquelle on aboutit inévitablement si l'on considère que la concordance (ou presque concordance) entre $t_{206/238}$ et $t_{207/235}$ est significative en pareil cas.

On voit toute l'importance qu'il y a d'obtenir des $t_{207/206}$ précis. Malheureusement, dans le domaine des „âges jeunes“, une faible erreur sur le rapport $207_{\text{rad}}/206_{\text{rad}}$ entraîne une large erreur sur la valeur de t calculée d'après ce rapport.

Discussion et interprétation des résultats

Les données géologiques et pétrographiques concernant les roches étudiées sont exposées dans les articles de E. JÄGER et H. FAUL (1959), E. JÄGER, J. GEISS, E. NIGGLI, A. STRECKEISEN, E. WENK, H. WÜTHRICH (1961), E. JÄGER (1962), H. WÜTHRICH (1963). Cet aspect du problème ne sera donc traité ici qu'en bref. Certains éléments de la discussion qui suit sont inspirés des auteurs précités, ainsi que de l'ouvrage de J. CADISCH et E. NIGGLI (1953). Les attributions stratigraphiques sont basées sur les échelles des temps géologiques de A. HOLMES (1960) et J. L. KULP (1961).

⁴⁾ Ou si elle est très ancienne, c'est-à-dire si elle s'est opérée peu après la formation du minéral. Mais en pareil cas, l'„age pattern“ est peu discordant.

1. Massif de l'Aar

Le granite du Grimsel serait une variété mélanocrate du granite central de l'Aar, et le granite de Mittagfluh une intrusion marginale, tardive, associée au granite central (T. HÜGI, 1956). On note que les zircons extraits de ces trois granites présentent des caractères communs (voir annexe 1).

Les trois roches sont généralement considérées comme hercyniennes, plus précisément d'âge fin-carbonifère ou début-permien (H. P. EUGSTER, 1951; F. SIGRIST, 1947). Cette attribution ne repose que sur des probabilités. Les mesures sur biotites ne mettent en évidence que l'importance de l'action métamorphique alpine. Elles suggèrent toutefois un âge préalpin pour Mittagfluh, ce qui est confirmé par les mesures sur roche totale. Ces dernières situent l'âge de Mittagfluh et du granite central à 250 m. a. ou un peu plus (H. WÜTHRICH, 1963).

Les mesures sur zircon confirment bien l'âge hercynien des trois roches. On note que pour les trois échantillons, $t_{\text{Zr}} = 207/206$ est voisin de 300 m. a. Des pertes de plomb se sont produites dans KAW 43 et surtout KAW 19. Il existe dans ces deux roches des zircons altérés, en proportion particulièrement importante dans KAW 19 (métamictes recristallisés?) (cf. M. GRÜNENFELDER et ST. HAFNER, 1962; M. GRÜNENFELDER, 1963). Les teneurs en U sont d'autant plus fortes que cette proportion de zircon altéré est élevée. Le fait que (toutes choses égales d'ailleurs), les zircons les plus métamictes perdent une fraction plus grande de leur plomb radiogénique a été observé par d'autres auteurs (L. T. SILVER, 1963; L. T. SILVER et S. DEUTSCH, 1963; M. GRÜNENFELDER, 1963; E. J. CATANZARO, 1963). Dans le cas présent, *Mittagfluh* a subi un degré *moindre* l'action métamorphique alpine, et cependant le zircon a perdu plus de plomb.

Nos mesures ne permettent pas de préciser si les trois roches sont plutôt fin carbonifère ou permien inférieur. Sur la base de ces mesures seules, on ne peut d'ailleurs exclure un âge carbonifère moyen ou inférieur. Rien ne prouve que le zircon *Grimsel* n'ait pas aussi perdu une faible proportion de plomb.

Une autre conclusion de H. WÜTHRICH (1963) est confirmée: l'un (au moins) des deux échantillons de Mittagfluh analysés en roche totale ne s'est pas comporté en système fermé pour Rb et Sr durant le métamorphisme. Il a été décrit des cas analogues (T. N. CLIFFORD et al., 1962; M. A. LANPHERE et al., 1963). Dans les deux cas cités, la différence entre l'âge du zircon et l'âge Rb/Sr de la roche totale est importante;

l'âge du zircon est considéré comme représentant l'âge de la mise en place des roches granitiques. Il s'agit de roches métamorphisées.

La teneur en U du zircon de la variété mélancrate *Grimsel* est relativement peu élevée, par rapport à celle du zircon du granite de l'*Aar*. Par contre, cette teneur est très élevée (près de 1%) pour l'intrusion acide probablement tardive de *Mittagfluh*. Ceci est conforme au comportement géochimique habituel de l'U (cf. T. HÜGI, 1956).

2. Granite de Baveno-Monte Orfano

Les affleurements de *Baveno* et *Monte Orfano* ne sont séparés que par la vallée de la rivière Toce; il s'agit d'un seul et même massif granitique. Contrairement à *Baveno*, *Monte Orfano* contient de nombreuses enclaves énallogènes, constituées à l'origine de schiste biotitique, suivant P. GALLITELLI (1938). Cette différence se marque très bien dans les échantillons que nous avons prélevés.

Les mesures de H. FAUL et E. JÄGER (1959), semblent bien établir l'âge hercynien de ce granite (la possibilité d'un âge plus ancien pouvant être avancée, à la rigueur). La roche n'est que peu affectée par le métamorphisme alpin bien que les mesures sur halos pléochroïques de S. DEUTSCH, E. PICCIOTTO et E. NIGGLI (1958) ont montré que ce métamorphisme n'est pas „nul“. Les mesures de R. CHESSEX, sur le dommage structurel des zircons, le confirment (1962).

La concordance entre les résultats des mesures K/A et Rb/Sr, d'une part, et ceux obtenus sur le zircon de *Baveno* est excellente. Cependant $t_{207}/206$ du zircon de *Monte Orfano* est notablement plus élevé. L'explication qui nous paraît la plus vraisemblable et que, pour ce zircon, $t_{207}/206$ est trop élevé, à cause de la présence dans le concentré de zircons anciens; ceux-ci proviendraient des enclaves, ou encore seraient présents dans le granite lui-même, qui a pu assimiler des roches encaissantes.

Une telle possibilité a été évoquée par plusieurs auteurs (G. R. TILTON et al., 1957; G. HOPPE, 1959; etc.). On a même signalé des âges Pb/ α trop élevés, dans des situations analogues (D. GOTTFRIED et al., 1959; R. G. GASTIL et M. DE LISLE, 1962).

Dans une telle hypothèse, $t_{206}/238$ et $t_{207}/235$ devraient être un peu trop élevés également, mais dans une mesure beaucoup moindre que $t_{207}/206$. C'est plutôt le contraire que l'on observe, mais une perte de plomb radiogénique peut très bien s'être produite à un moment quelconque après la mise en place du granite.

Théoriquement au moins, il y a une autre explication possible: une perte de radon (Rn 222) de 5 à 6%.

Comme dans le cas des granites l'Aar, on ne peut fixer de manière très précise l'âge (certainement hercynien) du granite de Baveno-Monte Orfano. La bonne concordance entre les $t_{\text{Rb-Sr}}$ du feldspath et de la biotite suggère (E. JÄGER et H. FAUL, 1959) un âge très voisin de 275 m. a. (ou 290 avec $\lambda_{\text{Rb-87}} = 1,39 \cdot 10^{-11} \text{ ans}^{-1}$). Les mesures sur zircon n'infirment pas cette possibilité qui placerait le granite, stratigraphiquement, à peu près à la limite Carbonifère-Permien ou au Permien inférieur. Les âges „plomb total“ déterminés par A. BUCHS et al. (1962), sur des zircons du granite de Baveno, sont trop élevés. Peut-être les échantillons qui ont fait l'objet de ces mesures étaient-ils riches en plomb commun.

3. Granite d'Habkern

Cette roche a été remarquablement préservée du métamorphisme alpin, pour deux raisons: sa position tectonique élevée (Flysch ultra-helvétique), et le fait que les blocs sont enrobés dans une matrice à grain fin. Des mesures sur halos pléochroïques ont permis de confirmer l'absence de métamorphisme, et de proposer un âge voisin de 300 m. a. (P. PASTEEELS, 1960).

Le granite d'Habkern est hercynien; la mesure sur zircon n'infirme pas la possibilité qu'il puisse appartenir au groupe d'âge de Baveno-Monte Orfano (E. JÄGER, 1962), mais ne la confirme pas non plus.

Le zircon a manifestement perdu du plomb. Le fait que de telles pertes puissent se produire en l'absence de métamorphisme, sous l'effet de facteur mal connus, a été maintes fois constaté (cf. not G. R. TILTON, 1960; G. J. WASSERBURG, 1963). Cela n'exclut pas que le métamorphisme puisse dans d'autre cas être le mécanisme déterminant.

4. Gneiss de la Silvretta

La nappe austro-alpine de la Silvretta est la plus élevée des Alpes suisses (A. STRECKEISEN, 1928). L'action métamorphique alpine y est faible; métamorphisme et intrusion sont d'âge pré-permien, soit hercynien (A. STRECKEISEN, 1928; F. SPAENHAUER, 1932; E. WENK, 1934) soit plus ancien, peut-être précambrien (E. WENK et A. STRECKEISEN, 1951). Les caractères morphologiques des zircons (annexe 1) sont conformes avec l'origine ortho ou para (attribuée par les auteurs cités), des deux gneiss étudiés.

L'examen des données géochronologiques rassemblées aux tableaux 3 et 4 montre que l'histoire géologique de cette région est complexe. On peut conclure des mesures faites sur zircon que :

1° la mise en place de l'orthogneiss KAW 56 s'est effectuée au paléozoïque, mais avant le métamorphisme hercynien. Quelle que soit l'explication de la discordance d'âge, l'intrusion de la roche peut être datée entre 390 et environ 550 m. a. Déjà, pour KAW 55, la mesure Rb/Sr sur roche totale avait montré que l'intrusion semblait précéder le métamorphisme (E. JÄGER, 1962).

2° Les zircons du paragneiss KAW 57 sont détritiques, en tout ou en partie. La discordance s'explique par une perte de plomb importante, ou par un mélange de zircons d'âges différents dont une part serait de néoformation. En tout ou en partie, les zircons détritiques proviennent de roches plus anciennes que 1300 m. a.

En ce qui concerne KAW 56, on peut envisager deux possibilités :

— La roche contient une faible proportion de zircons détritiques anciens. L'âge de l'intrusion serait de quelque 400 m. a. (Dévonien inférieur ou limite Silurien-Dévonien). E. WENK (1934), signale en effet que les orthogneiss ont localement des caractères de „Mischgestein“ et ont assimilé du matériel sédimentaire. Si l'on accepte cette explication, la différence entre l'âge de l'intrusion de KAW 56 et l'âge Rb/Sr sur roche totale de KAW 55 n'est que peu importante. Le cas présent paraît moins concluant que celui de Monte Orfano. On n'est pas assuré que les deux gneiss sont bien de même âge, ni que l'âge Rb/Sr sur roche totale représente bien l'âge de l'intrusion, puisqu'il y a eu un métamorphisme hercynien subséquent (cf. Mittagfluh).

— La deuxième hypothèse (plus vraisemblable?), c'est qu'il y a eu perte de plomb, suivant la règle habituelle. KAW 56 est daté à quelque 510—550 m. a., c'est-à-dire du Cambrien. E. SPAENHAUER (1932) considère que les orthogneiss de la Silvretta peuvent être mis en parallèle avec les orthogneiss des massifs varisques, avec lesquels ils offrent beaucoup de ressemblance. Or pour le zircon d'un „Streifengneis“ du massif du Gothard, M. GRÜNENFELDER (1962) a mesuré un âge voisin de 500 m. a. (ou un peu plus). Des granites de 510—560 m. a. sont connus dans le Massif Central (Y. VIALETTE, 1962) et la Normandie (M. J. GRAINDOR et G. J. WASSERBURG, 1962). En Bavière orientale, le zircon d'un gneiss granodioritique est âgé de quelque 450 m. a. (mais comme il s'agit d'un résultat discordant, l'âge pourrait être un peu plus élevé) (G. L. DAVIS et W. SCHREYER, 1962).

La figure 1 représente les données relatives aux deux échantillons de

la Silvretta, reportées sur le diagramme „Concordia“ (G. W. WETHERILL, 1956).

Il n'est pas trop invraisemblable de supposer que :

- a) tout ou la majeure partie des zircons détritiques de KAW 57 proviennent de roches ayant toutes le même âge (ou à peu près);
- b) la perte de plomb ou/et la néoformation de zircon s'est opérée durant les phases d'intrusion et de métamorphisme paléozoïques (entre 300 et 500 m. a.).

Si ces hypothèses sont exactes, les roches dont proviennent les zircons détritiques ont un âge compris entre 1550 et 1910 m. a.

Enfin, si l'on veut savoir quelle est la proportion de zircons détritiques que l'orthogneiss KAW 56 aurait dû réincorporer (dans l'hypothèse où il aurait 400 m. a.), cela peut se calculer comme suit :

Le segment 400-KAW 56 est égal à 4% environ, du segment 400-KAW 57. La proportion est donc de quelque 4%. Ce calcul ne vaut que si les 2 zircons ont la même teneur en U. Comme le zircon du paragneiss est 2,5 fois plus pauvre en U, la proportion du zircon détritique nécessaire pour expliquer théoriquement l'„age pattern“ de KAW 56, est voisine de 10%. Ceci n'est donné qu'à titre indicatif, mais peut servir à évaluer la vraisemblance d'une des hypothèses faite à propos de cet „âge discordant“.

ANNEXE 1 — DESCRIPTION DES ÉCHANTILLONS DE ZIRCON

Massif de l'Aar

KAW 61. *Grimsel*. Euèdres, euèdres brisés; rares grains subeuèdres et irréguliers. Association des faces {110} {100} {111}, avec {110} en général plus développée que {100}: très fréquent. Pas de terminaisons aiguës. Rapport longueur/largeur (L/1) élevé. Riches en inclusions. Limpides, incolores ou mauve pâle (au microscope). Pas de zonage à proprement parler. Faible proportion de grains troubles, apparaissant noirs en lumières transmises. A fort grossissement, on devine une structure en mosaïque (cf. M. GRÜNENFELDER et St. HAFNER, 1962).

Proportions approximatives:

Zircons troubles	> 1%
Zircons limpides contenant un zircon trouble en inclusion	4%
Zircons limpides	96%

KAW 43. *Granite central de l'Aar*. Euèdres, euèdres brisés; formes irrégulières plus rares; subeuèdres rares. Association de {110} {100} {111}

très caractéristique, avec {110} en général plus développée que {100}. Pas de terminaisons aiguës (les faces de pyramides aiguës sont pratiquement absentes, en tous cas peu développées). Modérément allongés. Nombreuses inclusions: de longs prismes aciculaires (apatite?) sont caractéristiques. Mauves pâles ou incolores au microscope. Il y a aussi des grains troubles cf. KAW 61 et des grains bruns plus ou moins troubles. Zonage rare.

Proportions approximatives:

Zircons bruns troubles et troubles apparaissant opaques	4%
Zircons limpides contenant un zircon trouble en inclusion	7%
Zircons limpides	89%

KAW 19. *Mittagfluh*. Euèdres; plus rarement brisés, subeuèdres, irréguliers. Forme généralement simple à terminaison obtuse (face {111}). Rapport L/I assez faible, inférieur à 2,5 dans la grosse majorité des cas, pour les euèdres non brisés. Dans les zircons limpides, inclusions abondantes analogues à celles observées dans KAW 43. Le zonage est exceptionnel.

Proportions approximatives:

Zircons troubles, apparaissant opaques au microscope	35%
Zircons troubles brun foncé (rarement brun-violacé)	36%
Zircons limpides brun foncé ou brun-violacé	5%
Zircons troubles incolores	> 1%
Zircons limpides avec inclusion de zircon noir ou brun	> 1%
Zircons limpides incolores ou mauve pâle	24%

La fraction qui a fait l'objet des mesures (décrise ici) est la fraction non magnétique à 1,4 Å. Il y a en outre dans la roche, une très forte proportion de zircons magnétiques colorés et troubles.

Granite de Baveno - Monte Orfano

Pa 59/4 et 60/2. *Baveno*. Euèdres, euèdres brisés; plus rares: irréguliers, subeuèdres trapus subarrondis. Forme simple analogue à celle observée dans les trois échantillons décrits plus haut: {111}, {100} et {110}; {100} apparaît toutefois plus développée en général que {110}. Modérément allongés et très petits: la majorité des grains sont plus courts que 100 µ. Limpides, incolores à mauve, avec quelques grains bruns. Le zonage est très fréquent. Quelques grains à inclusion de zircon souvent plus métamict, ou non zoné.

Pa. 60/3. *Monte Orfano*. Euèdres, euèdres brisés; irréguliers; sub-

euèdres rares et arrondis pratiquement absents. Quelques grains présentent des excroissances. Plus grande variété dans les terminaisons que dans Baveno: parfois simples et obtuses avec {111}, mais aussi association à cette face d'une pyramide aiguë. Plus allongés et plus grands que dans Baveno. Inclusions assez peu abondantes (peu de différence à cet égard avec Baveno). Rares inclusions de zircon métamicté souvent trouble. Limpides, incolores à mauve pâle. Zonage peu fréquent.

Granite d'Habkern

KAW 25. Euèdres, euèdres brisés; irréguliers: plus rares; subeuèdres et arrondis pratiquement absents. Terminaisons souvent simples avec large développement de {111}. Mais parfois association de cette face avec une pyramide aiguë. Allongés et plus grands dans l'ensemble que dans Monte Orfano. Inclusions peu abondantes, de même types que dans Monte Orfano. Il y a des „noyaux“ de zircon de propriétés différentes (plus riches en inclusions, ou plus métamictes, etc.). Limpides, mauves ou incolores. Zonage occasionnel.

Nappe de la Silvretta

KAW 56. *Orthogneiss de Flüela*: Euèdres et subeuèdres; brisés, irréguliers. Forme caractéristique en amande ou en fuseau, due au grand développement d'une pyramide aiguë, généralement associée à {111}, cette dernière face étant peu développée. Les formes subeuèdres et irrégulières sont assez répandues: arrêtes émoussées, faces concaves, etc. Assez allongés. Pauvres en inclusions. Pratiquement pas de „noyaux“ de zircon inclus dans un autre zircon. Limpides, incolores à violacé. Zonage rare.

KAW 57. *Paragneiss de Flüela*: Subeuèdres; brisés, irréguliers. Les euèdres sont assez rares. Forte proportion de grains irréguliers subarrondis. Pour les euèdres et subeuèdres terminaisons simples ou complexes; grande variété dans la forme. Allongement modéré pour les subeuèdres; les irréguliers et subarrondis souvent courts. Inclusions peu abondantes. Limpides, mauves ou incolores. Zonage rare.

ANNEXE 2 — LOCALISATION ET DESCRIPTION SOMMAIRE DES ÉCHANTILLONS

Grimsel KAW 61. Nollenstrasse, 20 m à l'ouest de l'extrémité du barrage. Analogue à KAW 43, sauf que la biotite est plus abondante.

Aar KAW 43. Route du Grimsel, sous le Räterichbodensee, coord.

667.950/160.650. Granite à grain moyen, très mylonitisé, clair. Feldspath potassique peu altéré. Plagioclase très sérichtisé. Quartz à extinction onduleuse ou granulé. Biotite vert-olive déformée ou déchiquetée.

Mittagfluh KAW 19. Tschingelbrücke, 2 km au sud de Guttannen. Rive gauche à la hauteur du pont, coord. 666.025/166.000. Analogue à KAW 43, mais le degré de mylonitisation est moindre. Il y a de la biotite brune à côté de la biotite vert-olive (E. JÄGER, E. KEMPTER, E. NIGGLI, H. M. WÜTHRICH, 1961).

Baveno Pa 59/4 + Pa 60/2. Carrière à 350 m à l'est de la chapelle de Madonna della Scarpia, route de Baveno à Gravellona Toce. On a réuni deux échantillons de la même roche, prélevés au même endroit. Il s'agit de la variété blanche du granite de Baveno. La roche n'est pas mylonitisée. Le feldspath est légèrement altéré, la biotite généralement fraîche, parfois chloritisée.

Monte Orfano Pa 60/3. Carrière au bord de la route Pallanza-Gravelonna Toce, du côté nord de celle-ci, à 2 km 950 m de Gravellona Toce. Variété blanche identique à *Baveno*, sauf que la roche est plus fraîche et qu'elle renferme de nombreuses enclaves riches en biotite.

Habkern KAW 25. Forst, près de Thoune. Fragments d'un bloc miné deux ans avant l'échantillonnage. Granite à grain moyen à grossier, d'aspect très frais, non mylonitisé ni cataclasé. La biotite est localement chloritisée.

Orthogneiss de Flüela KAW 56. Col de Flüela. Blocs dans les moraines près du Mehlkasten, coord. 790.300/183.925. Gneiss granitique à gros phénoblastes de feldspath potassique, structure gneissique peu accentuée, grain moyen à grossier.

Paragneiss de Flüela KAW 57. Radönt, S-O du col de Flüela. Bloc fraîchement éboulé, environ 20 m sous le sentier du Schwarzhorn, coord. 792.920/179.875. Gneiss à grain fin, à biotite et plagioclase (E. JÄGER, J. GEISS et al., 1961). Structure gneissique très prononcée.

ANNEXE 3 — LAVAGES AUX ACIDES; PLOMB COMMUN DE CORRECTION

a) Analyses isotopiques du plomb extrait des acides de lavage

Ces analyses, reportées au tableau 2, ont été faites dans un double but :

1. Préciser la composition isotopique du plomb commun de correction.

2. Mettre en évidence des impuretés radioactives présentes dans le concentré.

On peut s'attendre à un mélange de deux constituants, l'un commun, présent à l'origine dans les sulfures, etc. (on introduit lors des opérations de séparation des minéraux) et l'autre radiogénique. Ce dernier peut provenir d'impuretés riches en U et Th, du sphène, de l'apatite, des enduits interstitiels recouvrant le zircon, etc.

Fraction commune: C'est le rapport 207/204 du plomb commun qu'il est important de connaître (v. § spectrométrie de masse). On peut le déterminer sans trop d'imprécision, si la fraction radiogénique n'est pas trop importante. Les données du tableau 2 montrent, que pour *Aar* et *Baveno*, ce rapport est voisin de 15,82 (Pb commun Be 109, région du Grimsel, L. CAHEN et al., 1958). En effet, le plomb radiogénique supposé, obtenu par soustraction de Be 109, a un rapport 207/206 voisin de 0,05, valeur théorique pour les minéraux uranifères jeunes. En soustrayant du plomb total un composant „commun“ qui aurait un rapport 207/204 très différent de 15,8, on obtiendrait pour la fraction radiogénique une composition isotopique absurde. D'ailleurs, des analyses isotopiques de plombs communs de galènes ou de feldspaths, provenant des alpes suisses et italiennes, ne montrent qu'une faible variation en ce qui concerne le rapport 207/204: de 15,69 à 15,84 pour 13 galènes (réf. cit. et P. EBERHARDT et al., 1955). On peut donc supposer que la valeur de ce rapport est voisine de 15,8, également pour le plomb commun présent dans les concentrés de zircon qui ont fait l'objet des mesures.

Le plomb commun introduit occasionnellement au cours des opérations de chimie (réactifs, manipulations) paraît avoir, lorsqu'on a pu le vérifier, un rapport 207/204 d'environ 15,8 également. On le constate pour KAW 43, attaque 1, très contaminé: t 207/206 est du bon ordre de grandeur si on fait la correction avec Be 109 ($207/204 = 15,82$). Pour un autre zircon qui a fait l'objet d'analyses répétées, on a pu faire la même constatation. Cette circonstance est favorable et permet d'attribuer une importance secondaire à la source réelle de la contamination, dans le cas présent.

Fraction radiogénique: On ne peut faire que des hypothèses concernant les impuretés radioactives contenues dans *Baveno*. De l'uraninite non thorifère a été signalée dans ce granite (S. DEUTSCH et E. PICCIOTTO, 1956). Ce minéral se dissout très rapidement dans l'acide nitrique. Or, on retrouve dans cet acide, outre le plomb d'Uranium prévu (207 et 206) du plomb 208 provenant de la désintégration du Thorium, et du

plomb commun en abondance. Enfin, il y a également du plomb radio-génique dans la fraction soluble à l'acide sulfurique. D'après les comptages α effectués avant et après les traitements à l'acide, la fraction dissoute dans les deux acides a une teneur d'environ 10% eq. U. Cette fraction étant largement constituée d'apatite, de sulfures, de fluorine, il faut conclure qu'il existe dans *Baveno* un ou plusieurs minéraux non identifiés très riches en U et Th, se présentant sous l'aspect de grains noirs.

b) Traitement à l'eau régale de KAW 43 (Aar)

Ce traitement, effectué après broyage fin, est destiné à éliminer une partie des inclusions. Ces dernières sont abondantes dans ce zircon, de même que dans *Grimsel* KAW 61. On constate qu'il y a une élimination sélective du plomb commun, qui passe de 19 à 12% du total, et du Pb 208 radio-génique. Ce dernier constitue 12,3% de la fraction radio-génique dans le cas de la prise 4 (non traitée), et respectivement 9,1 et 9,3% dans le cas des prises 3 et 5 (traitées). S'il y a perte préférentielle de $^{207}_{\text{rad}}$ ou $^{206}_{\text{rad}}$, cet effet est trop peu important pour être mis en évidence par nos mesures, précises à quelque 1 à 2% près pour $^{207}_{\text{rad}}/^{206}_{\text{rad}}$. G. R. TILTON (1956) et K. K. ZHIROV, S. I. ZYROV et N. I. STUPNIKOVA (1957) ont obtenu des résultats assez semblables.

Bibliographie

B.S.M.P. = Bulletin suisse de Minéralogie et Pétrographie

- BUCHS, A., CHESSEX, R., KRUMMENACHER, D. et VUAGNAT, M. (1962): Ages „plomb total“ déterminés par fluorescence X sur les zircons de quelques roches des Alpes. B.S.M.P., 42/2, 295—305.
- CADISCH, J. et NIGGLI, E. (1953): Geologie der Schweizer Alpen, Wepf et Co., Bâle.
- CAHEN, L., EBERHARDT, P., GEISS, J., HOUTERMANS, F. G., JEDWAB, J. et SIGNER, P. (1958): On a correlation between the common lead model age and the trace-element content of galenas. Geochimica et Cosmoch. Acta, 14, 134—149.
- CATANZARO, E. J. (1963): Zircon ages in Southwestern Minnesota. Journ. Geophys. Res. 68/7, 2045—2048.
- CLIFFORD, T. N., NICOLAYSEN, L. O. et BURGER, A. J. (1962): Petrology and age of the pre-Otavi basement granites at Franzfontein, Northern South-West Africa. Journ. Petrology, 3/2, 244—279.
- DAVIS, G. L. et SCHREYER, W. (1962): Altersbestimmungen an Gesteinen des ostbayerischen Grundgebirges und ihre geologische Deutung. Geol. Rundschau, 52/1, 146—169.
- DEUTSCH, S. et PICCIOTTO, E. (1956): Présence d'uraninite dans les minéraux accessoires du granite de *Baveno*. Experientia, 19/9, 333.

- DEUTSCH, S., PICCIOTTO, E. et NIGGLI, E. (1958): Age des halos pléochroïques des granites de Baveno et Monte Orfano. *Experientia*, 14/4, 128.
- EBERHARDT, P., GEISS, J. et HOUTERMANS, F. G. (1955): Isotopen-Verhältnisse von „gewöhnlichem“ Blei und ihre Deutung. *Z. Physik*, 141, 91—102.
- EUGSTER, H. P. (1951): Petrographische Untersuchungen im Gebiete der Val Russein (Aarmassiv-Ostende). *B.S.M.P.*, 31, 1—131.
- GALLITELLI, P. (1938): Ricerche petrografiche sul Montorfano (Lago Maggiore). *Atti e Mem. R. Acad. Sci. Lett. ed Arti Modena*, sér. 5, 3, 3—93.
- GASTIL, R. G. et DE LISLE, M. (1962): Variations in the lead-alpha ratio of zircons under varying grades of contact metamorphism (Résumé). *Prog. 1962 Annual Meetings*, 58 A.
- GOTTFRIED, D., JAFFE, H. W. et SENFTLE, F. E. (1959): Evaluation of the lead-alpha (Larsen) method for determining ages of igneous rocks. *Geol. Surv. Bull.*, 1097-A.
- GRAINDOR, M. J. et WASSERBURG, G. J. (1962): Déterminations d'âges absolus dans le nord du Massif Armorican. *C.R.*, 254, 3875—3877.
- GRÜNENFELDER, M. (1962): Mineralalter von Gesteinen aus dem Gotthardmassiv. *B.S.M.P.*, 42, 6—7.
- (1963): Heterogenität akzessorischer Zirkone und die petrogenetische Deutung ihrer Uran/Blei-Zerfallsalter. I. Der Zirkon des Granodioritgneises von Acqua-calda (Lukmanierpass). *B.S.M.P.*, 43/1, 235—257.
- GRÜNENFELDER, M. et HAFNER, S. (1962): Über das Alter und die Entstehung des Rotondogranits. *B.S.M.P.*, 42, 169—207.
- HOLMES, A. (1960): A revised geological time-scale. *Trans. Edinburgh Geol. Soc.*, 17/3, 183—216.
- HOPPE, G. (1959): Über die Verwendbarkeit der akzessorischen Zirkone zu Altersbestimmungen. *N. Jb. Miner.*, 93, 45—66.
- HÜGI, TH. (1956): Vergleichende petrologische und geochemische Untersuchungen an Graniten des Aarmassivs. *Mat. Carte géol. suisse*, N.S., 94.
- JÄGER, E. (1962): Rb-Sr age determinations on micas and total rocks from the Alps. *Journ. Geophys. Res.*, 67/13, 5293—5306.
- JÄGER, E. et FAUL, H. (1959): Age measurements on some granites and gneisses from the Alps. *Bull. Geol. Soc. Amer.*, 70, 1553—1557.
- JÄGER, E., KEMPTER, E., NIGGLI, E. et WÜTHRICH, H. M. (1961): Biotit-Varietäten und Stilpnomelan im alpin metamorph überprägten Mittagfluh-Granit (Aarmassiv). *B.S.M.P.*, 41, 117—126.
- JÄGER, E., GEISS, J., NIGGLI, E., STRECKEISEN, A., WENK, E. et WÜTHRICH, H. (1961): Rb-Sr-Alter an Gesteinsglimmern der Schweizer Alpen. *B.S.M.P.*, 41, 255—272.
- LANPHERE, M. A., WASSERBURG, G. J., ALBEE, A. L. et TILTON, G. R. (1963): Redistribution of Strontium and Rubidium isotopes during metamorphism, World Beater Complex, Panamint Range, California. *Isotopic and Cosmic Chemistry*, North Holland Press.
- MARSHALL, R. R. et HESS, D. C. (1960): Determination of very small quantities of Lead. *Anal. Chem.* 32/8, 960—966.
- PASTEELS, P. (1960): L'âge des halos pléochroïques du granite d'Habkern et de quelques roches du massif de l'Aar. *B.S.M.P.*, 40, 261—266.

- REINHARZ, M., DELWICHE, R. et KATZ, J. (1962): Spectromètre de masse du Laboratoire de Géologie et Géochimie Nucléaires. Presses Universitaires de Bruxelles.
- SIGRIST, F. (1947): Beiträge zur Kenntnis der Petrographie und der alpinen Zerrkluftlagerstätten des östlichen Aarmassivs. B.S.M.P., 27, 39—182.
- SILVER, L. T. (1963): The Use of cogenetic Uranium-Lead isotope systems in zircons in geochronology. Radioactive Dating, Proc. Symp. Athen 1962, Int. Atomic En. Ag. Vienne, 279—287.
- SILVER, L. T. et DEUTSCH, S. (1963): Uranium-Lead isotopic variations in zircons: a case study. Journ. Geol. 71/6, 721—758.
- SPAENHAUER, F. (1932): Geologie und Petrographie der Vadret-Sursura-Gruppe. B.S.M.P., 12, 27—146.
- STIEFF, L. R., STERN, T. W., SEIKI OSHIRO et SENFTLE, F. E. (1959): Tables for the calculation of lead isotope ages. Geol. Surv. prof. paper 334-A.
- STRECKEISEN, A. (1928): Geologie und Petrographie der Flüelagruppe. B.S.M.P. 8, 87—239.
- TILTON, G. R. (1956): The interpretation of lead-age discrepancies by acid-washing experiments. Trans. Am. Geophys. Union, 37/2, 224—230.
- (1960): Volume diffusion as a mechanism for discordant lead ages. Journ. Geophys. Res., 65/9, 2933—2945.
- TILTON, G. R., DAVIS, G. L., WETHERILL, G. W. and ALDRICH, L. T. (1957): Isotopic ages of zircon from granites and pegmatites. Trans. Am. Geophys. Union, 38, 360—371.
- VIALETTE, Y. (1962): Contribution à l'étude géochronologique par la méthode du Strontium des principaux massifs de granites et de migmatites du Massif Central Français. Ann. Fac. Sc. Univ. de Clermont, Géol. Min., 6.
- WASSERBURG, G. J. (1963): Diffusion processes in Lead-Uranium systems. Journ. Geophys. Res., 68/16, 4823—4846.
- WENK, E. (1934): Beiträge zur Petrographie und Geologie des Silvrettakristallins. B.S.M.P., 14, 196—278.
- WENK, E. et STRECKEISEN, A. (1951): Bericht über die geologisch-petrographische Exkursion ins östliche Graubünden. B.S.M.P., 31, 330—342.
- WETHERILL, G. W. (1956): Discordant uranium-lead ages. I. Trans. Am. Geophys. Union, 37, 320—326.
- WÜTHRICH, H. (1963): Rb-Sr-Altersbestimmungen an Gesteinen aus dem Aar-Massiv. Eclogae Geol. Helv., 56/1, 103—112.
- ZHIROV, K. K., ZYKOV, S. I. et STUPNIKOVA, N. L. (1957): On the durability of bounds of different lead isotopes in the structure of allanite. Geochemistry 2, 177—185 (traduction de Geokhimiya).