

Zeitschrift:	Schweizerische mineralogische und petrographische Mitteilungen = Bulletin suisse de minéralogie et pétrographie
Band:	44 (1964)
Heft:	1
Artikel:	Déterminations d'âge sur des zircons de roches des Alpes et des Apennins par la méthode des "radiation damage"
Autor:	Chessex, Ronald
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-34323

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>

Déterminations d'âge sur des zircons de roches des Alpes et des Apennins par la méthode des „radiation damage“

Par *Ronald Chesseix* (Lausanne)

Résumé

Nous présentons dans cette publication des déterminations d'âge effectuées sur des zircons de roches cristallines des Alpes (domaines pennique, austro-alpin et insubrien, zone des racines) et des Apennins (Toscane). La méthode utilisée fait intervenir la mesure du dommage causé à la structure par les radiations d'origine radioactive et celle de l'activité spécifique alpha du minéral.

Les résultats obtenus sont intéressants en ce sens qu'ils confirment l'âge alpin des massifs éruptifs de Biella, Bergell, Adamello et de la zone du Tonale. Le granite de Baveno, mis en place durant l'orogenèse hercynienne, donne un âge nettement trop faible, ce qui prouve qu'il a été légèrement affecté par le métamorphisme alpin. Le massif de Predazzo semble avoir eu une histoire longue et compliquée dans laquelle des phénomènes de palingénèse sont intervenus. Les gneiss granitiques des nappes penniques inférieures ont subi une recristallisation intense durant l'orogenèse alpine, ceux de la nappe de la Dent Blanche, beaucoup plus élevée dans l'édifice alpin, donnent des âges plus vieux. Le gneiss de la zone de Strona donne l'âge le plus élevé que nous ayons obtenu jusqu'à maintenant dans les Alpes par cette méthode. Le granite de l'île d'Elbe, considéré comme étant d'âge oligo-miocène, est certainement plus jeune (8 Ma.¹), tandis que celui, voisin, de Gavoranno, semble plus ancien (19 Ma.).

La méthode mise en œuvre fournit au géologue le moyen d'évaluer l'âge de roches ignées jeunes qui n'ont pas subi de réchauffement après leur consolidation.

Abstract

We publish here some results obtained by the "radiation damage" method on zircons of igneous and metamorphic rocks of different units of the Alps and the Apennines.

¹) Ma. = million d'années.

The ages of the plutons of Biella, Bergell, Adamello and Tonale zone are in good agreement with the views generally admitted, i. e. that these rocks crystallized during the Alpine orogeny. The age found on the hercynian Baveno massif is too young, indicating a partial annealing of the zircon's damage. The history of Predazzo massif seems quite complex, as attested by the ages found. The recrystallization of the granitic gneiss of the lower pennine nappes during the Alpine orogeny was very extensive, as proved by the very young ages found on the zircons of these rocks, whereas those of the gneiss of the austroalpine Dent Blanche nappe give older ages. The age of the Strona gneiss (266 My.) is, until now, the highest we found in the Alps by this method. A very interesting result was found on the granite of Elba island (Apennines) which is Pliocene (8 My.), therefore younger than the age admitted (20—30 My.), whereas the Gavoranno granite seems older (19 My.).

Thus, this "radiation damage" method give best results on young igneous rocks which were not subsequently reheated.

INTRODUCTION

Ces dernières années ont vu les géologues de plusieurs de nos universités suisses s'attaquer au problème fondamental de l'âge absolu des massifs cristallins de la chaîne des Alpes. Malgré les nombreuses difficultés rencontrées, dues en grande partie à l'histoire géologique complexe de ces Alpes, les premiers résultats obtenus peuvent être considérés comme très encourageants. Les résultats que nous présentons ne sont qu'un modeste apport à la somme d'observations qui doit permettre de connaître de mieux en mieux l'histoire des Alpes dont les roches les plus anciennes sont certainement précambrifiantes.

Nous avons effectué ces déterminations d'âge par la méthode dite des „radiation damage“. Elle n'a pas la prétention d'être aussi précise que celles faisant intervenir la détermination d'isotopes radioactifs et radiogéniques. Elle est toutefois susceptible de donner des renseignements précis sur l'âge de roches ignées jeunes, non réchauffées après leur cristallisation, comme l'ont été, par exemple, des roches ignées mises en place durant le cycle alpin. Ainsi, notre effort s'est porté principalement sur les massifs éruptifs qui jalonnent le bord méridional des Alpes et qui sont, pour la plupart, supposés être d'âge alpin.

Nos recherches ont bénéficié d'un subside alloué par la Commission pour la science atomique, que nous remercions. Nous exprimons également notre reconnaissance à MM. de Montmollin, Buttet et Gilliland qui nous ont aidé dans nos travaux.

Tableau des résultats

Zircon No	Type de roche	Unité géologique	Activité (en alpha/ mg. h)	c. (en Å)	Age (Ma.)
23 B 1	Syénite	Massif de Biella (zone de Sesia-Lanzio)	750	5,9871	37
60 B 2	do.	do.	890	5,9894	42
26 Ba 1	Monzonite quartz.	Massif de Baveno (zones d'Ivrée et Strona)	594	5,9914	76
42 Ba 2	do.	do.	509	5,9893	73
45 Ba 3	Granite	do.	1114	6,0076	96
117 Pz 1	Granite à tourmaline	Massif de Predazzo (Dolomites)	1428	6,0057	70
158 Pz 3	do.	do.	1608	5,9990	46
154 Pz 2	Monzonite	do.	335	5,9928	150
31 Bl 3	Monzonite quartz.	Massif du Bergell (nappes penniques et austro-alpines)	1303	5,9879	24
57 Bl 5	do.	do.	1293	5,9866	21
29 Bs 1	Diorite quartz.	Bassetta-Meliolo (zone du Tonale)	181	5,9812	32
44 Bs 2	do.	do.	106	5,9806	33
30 Ad 1	Tonalite	Massif de l'Adamello (zone insubrienne)	272	5,9818	30
47 Ad 2	do.	do.	254	5,9823	39
79 Ad 5	do.	do.	309	5,9820	29
51 Ad 3	Granodiorite	do.	434	5,9820	21
78 Ad 4	do.	do.	450	5,9836	33
59 Ant 3	Gneiss granitique	Coupole de Verampio (Pennique inférieur)	931	5,9839	16
122 Ant 4	Gneiss œillé	Nappe d'Antigorio (Pennique inférieur)	762	5,9826	15
104 Mt 1	Syénite	Massif du Montgenèvre	118	5,9828	101
144 DB 1	„Gneiss d'Arolla“	Nappe de la Dent Blanche (Austro-alpin inférieur)	716	5,9963	89
152 DB 2	Granite à hornblende	do.	341	5,9921	140
89 St 1	Paragneiss à biotite	Zone de Strona	282	5,9992	266
46 Eb 2	Granodiorite	Ile d'Elbe (Apennins)	2826	5,9858	8
50 Eb 3	Granite	do.	3121	5,9858	7,5
131 Ga 1	Monzonite quartz.	Massif de Gavoranno (Apennins)	430	5,9818	19

EXAMEN DES ZIRCONS

Bien que les zircons utilisés pour ces déterminations d'âge n'aient pas encore été étudiés statistiquement, il est néanmoins facile de mettre en évidence les caractères qui les distinguent et qui portent principalement sur la coloration et l'habitus.

Les couleurs permettent de les diviser en deux groupes:

- a) les cristaux de teinte claire: jaune (Biella, Bergell), rose (Adamello, Bassetta, Gavoranno), verte (Elbe).
- b) les cristaux violets ou brun violacé, toujours plus foncés que ceux du groupe précédent (Baveno, Strona, Dent-Blanche).

Nos observations permettent de dire que, dans les Alpes, les zircons violets sont toujours anté-alpins. Les zircons clairs appartiennent généralement à des roches mises en place durant l'orogenèse alpine. Seuls font exception les zircons extraits des gneiss des nappes penniques inférieures. Cette exception n'étonne guère, car nous savons que ces roches ont été profondément affectées par le métamorphisme alpin. Or les expériences de laboratoire prouvent que la coloration primitive des zircons disparaît rapidement par chauffage, même modéré (inférieur à 400° C).

Entre les zircons nettement idiomorphes et ceux dont les formes sont arrondies, il y a une foule d'intermédiaires. Dans la plupart des roches ignées, les zircons sont en majorité idiomorphes. Par contre, dans les roches métasédimentaires, on observe généralement une proportion élevée d'individus plus ou moins arrondis par usure, ce qui s'explique aisément.

PRINCIPE DE LA MÉTHODE

Nous savons que les radiations émises par les noyaux radioactifs ont le pouvoir d'endommager certaines structures cristallines, provoquant ainsi des changements de propriétés physiques des minéraux contenant ces éléments radioactifs. L'étude quantitative de ces altérations est à la base de diverses méthodes géochronométriques.

Le principe de la méthode utilisée dans cette étude repose sur le fait que les particules alpha et les noyaux de recul associés, qui sont essentiellement l'U, le Th et leurs descendants, peuvent provoquer la destruction progressive et complète de la structure de certains minéraux radio-

actifs, conduisant ainsi à la formation de l'état métamict. Ce dernier terme a été introduit dans la littérature par le minéralogiste norvégien BRÖGGER, en 1893, pour désigner des substances primitivement cristallines ultérieurement transformées, sans changement de forme extérieure, en matériel amorphe. Cette dégradation progressive de la structure cristalline s'accompagne de variations des principales propriétés physiques: diminution de la dureté, de la réfringence, de la biréfringence et de la densité. L'évaluation du degré de détérioration du réseau cristallin peut se mesurer aux variations de ces différentes propriétés. Les recherches effectuées à ce jour ont montré que l'examen de la substance par les rayons X était le moyen le plus sensible et précis pour suivre les progrès de la dégradation de la structure. En effet, la diminution de la densité du minéral entraîne, comme corollaire, l'augmentation du volume de la maille élémentaire que l'on mesure aisément sur un diagramme de rayons X du minéral.

La mise au point de la méthode est due à HOLLAND et KULP (1950), FAIRBAIRN et HURLEY (1953), HOLLAND (1955), HOLLAND et GOTTFRIED (1955) qui, pour les raisons suivantes, choisirent le minéral zircon; Zr_2SiO_4 :

- a) c'est le plus répandu des minéraux pouvant se trouver à l'état métamict;
- b) c'est un minéral accessoire primaire que l'on trouve dans presque toutes les roches ignées de composition acide ou intermédiaire, qui sont les plus abondantes dans l'écorce terrestre;
- c) le zircon contient de l'U et du Th en quantités suffisantes pour être facilement mesurables;
- d) il se présente à tous les stades de dégradation, contrairement à beaucoup de minéraux métamictes que l'on ne trouve qu'exceptionnellement à l'état cristallin;
- e) le zircon cristallise dans le système quadratique; les dimensions de sa maille élémentaire, a_0 et c_0 sont donc facilement mesurables par les rayons X.

La détermination de l'âge absolu d'un zircon nécessite:

a) l'évaluation du degré de dégradation de sa structure. HOLLAND et GOTTFRIED (1955), en étudiant une collection de zircons provenant de Ceylan, tous d'âge identique et connu (550 Ma., valeur obtenue par les méthodes isotopiques Pb^{206}/U^{238} , Pb^{207}/U^{235} , Pb^{208}/Th^{232} et Pb^{207}/Pb^{206})

trouvérent que la variation de c_0 (hauteur de la maille élémentaire, coïncidant avec l'axe quaternaire du cristal) était proportionnelle à la dose d'irradiation (mesurée en désintégrations alpha par mg. de substance) subie par le minéral après sa cristallisation. Cette relation linéaire, n'est valable que si cette dose ne dépasse pas une valeur d'environ 350×10^{13} alpha/mg. (fig. 1, CHESSEX et VUAGNAT, 1961). La valeur c_0 peut être déterminée à $\pm 0,0005 \text{ \AA}$ près, au moyen d'un diffractomètre à rayons X. Le procédé utilisé ici est décrit en détail par HOLLAND et coll. (1955).

b) La mesure de la radioactivité du zircon, c'est-à-dire la détermination de sa teneur en U et Th. Pratiquement, on mesure l'activité spécifique alpha en source épaisse au moyen d'un compteur à scintillations alpha. Les zircons contiennent en moyenne 100 à 5000 ppm²⁾ d'U et 50 à 4000 ppm de Th. Mentionnons qu'un des étalons utilisés pour ces mesures de radioactivité contient 460 ppm d'U et 400 ppm de Th, ce qui correspond à une activité spécifique alpha de 204 alpha/mg.h. La formule utilisée pour cette transformation est la suivante: activité en alpha/mg.h. = $0,366 \text{ U ppm} + 0,0869 \text{ Th ppm}$.

L'âge d'un zircon est donné par la relation suivante:

$$t = \frac{D}{d} \times c \quad \text{où}$$

t = âge du zircon, en millions d'années.

D = taux d'irradiation, en désintégrations alpha/mg. Cette valeur est déterminée au moyen de la relation établie par HOLLAND et GOTTFRIED (1955).

d = activité spécifique alpha du zircon, mesurée en désintégrations alpha/mg. millions d'années. Cette valeur est donc une mesure de la radioactivité de l'échantillon.

c = facteur dépendant de D/d et de Th/U .

Pour que la méthode soit valable, il est nécessaire que les conditions suivantes soient réalisées:

a) la transition du zircon de l'état cristallin à l'état métamicté n'est fonction que de la dose d'irradiation causée par la désintégration des éléments radioactifs contenus dans le minéral depuis sa cristallisation.

b) La valeur c_0 du zircon étudié doit avoir été la même, à l'origine, que celle du zircon type, non endommagé ($c_0 = 5,9797 \text{ \AA}$), provenant

²⁾ ppm = millionièmes en poids.

de Ceylan, utilisé par HOLLAND et GOTTFRIED pour la mise au point de la méthode.

c) La relation liant le taux d'irradiation au dommage causé à la structure du zircon d'âge inconnu doit être identique à celle établie par HOLLAND et GOTTFRIED au moyen des zircons de Ceylan.

d) Après la cristallisation, il ne doit pas avoir eu de changement de nature physique ou chimique, excepté ceux en relation avec la désintégration radioactive de l'U et du Th contenus dans le zircon. Des âges inexacts proviennent souvent du fait que cette dernière condition n'est pas réalisée.

DISCUSSION DES RÉSULTATS

Massif de Biella

Le massif syénitique de Biella relève de la province périadriatique de NIGGLI (1922). Il est situé, comme le massif de Traversella au NE duquel il se trouve, dans la zone de Sesia-Lanzio (zone des racines de la nappe de la Dent-Blanche).

Bien que l'on observe pas de contact entre la syénite et des formations stratigraphiquement datées, son âge alpin n'a jamais été mis en doute. NOVARESE (1933) pense que les massifs de Biella et Traversella ont été mis en place peu après l'Oligocène moyen, époque du déferlement des nappes penniques vers le N. Ses arguments sont les suivants:

- a) les roches éruptives coupent obliquement les formations métamorphiques encaissantes.
- b) Absence de cataclase alpine.
- c) Consanguinité évidente avec des intrusions certainement mises en place durant l'orogenèse alpine.

NIGGLI (1922) met en évidence la parenté chimique existant entre les roches de Biella et de Traversella et pense qu'il s'agit des produits de différenciation du même magma. Il y a donc tout lieu de croire que ces deux massifs sont synchrones.

L'âge du massif de Traversella est certainement voisin de 30 Ma., comme le prouvent les âges obtenus pour les zircons par la même méthode et pour les biotites par la méthode K-A. Or, les deux échantillons de la syénite de Biella que nous avons déterminés donnent des valeurs de 37 et 42 Ma., par conséquent supérieures à celles de Traversella.

La syénite de Biella a-t-elle réellement cristallisé avant la diorite de

Traversella? Nous pensons que de nouvelles déterminations d'âge absolu, par d'autres méthodes, sont nécessaires pour trancher cette question. On peut toutefois faire remarquer que, avec la méthode que nous utilisons, il y a plus de chances d'obtenir des âges trop faibles que trop élevés. L'âge trouvé, plus ancien que celui de la mise en place de la nappe de la Dent-Blanche, pourrait provenir du fait qu'une partie des zircons proviendrait des roches plus anciennes, remobilisées durant le cycle alpin. Toutefois, l'examen microscopique des zircons et celui de la syénite sur le terrain ne semblent pas confirmer une telle hypothèse.

Massif de Baveno

Les massifs granitiques hercyniens du Lac Majeur sont situés au sein des roches métamorphiques des zones de Strona et d'Ivrée, au S de la ligne insubrienne.

Nous savons maintenant (JÄGER et FAUL, 1959; BUCHS et coll., 1962) que ces plutons, dont le plus représentatif est celui de Baveno, sont hercyniens et non alpins comme certains géologues inclinaient à le croire. Si l'on se base sur les résultats obtenus par les méthodes Rb-Sr et K-A sur les biotites, la mise en place du granite remonterait à quelque 300 Ma.

Il y a toutefois une discordance entre les résultats obtenus par la méthode Rb-Sr (290 Ma.) et celle du K-A (270 Ma.). JÄGER et FAUL (1959) expliquent cette différence par le fait qu'un métamorphisme régional de faible intensité, ayant permis la diffusion d'une petite fraction de l'A radiogénique, aurait affecté le granite il y a 270 Ma. Ces auteurs trouvent cette hypothèse plus plausible que celle faisant intervenir des actions dues au métamorphisme alpin.

Il faut cependant mentionner que DEUTSCH et coll. (1958) ont trouvé, par la méthode des halos pléochroïques appliquée aux granites de Baveno et Monte Orfano, un âge probable de 75 Ma., valeur qu'il faudrait diviser par un facteur de 4,5 environ, car le granite de l'île d'Elbe, utilisé comme échantillon de référence, est âgé de 7 Ma. et non de 30 Ma. comme on le supposait alors. Il s'ensuit donc que les halos des biotites du granite de Baveno ont subi un effacement notable, très certainement dû à l'effet du métamorphisme alpin.

Les âges que nous avons obtenus sont compris entre 73 et 96 Ma. Ces résultats semblent donc, eux aussi, prouver que le massif de Baveno a subi un certain réchauffement lors de l'orogenèse alpine.

Massif de Predazzo

Nous discutons le cas du massif de Predazzo dans la publication de CHESSEX et coll. de ce même périodique. Nous arrivons à la conclusion que ce pluton est composé de roches d'âges assez divers puisque les résultats sont compris entre 275 et une valeur inférieure à 40 Ma.

Si une partie des intrusions de ce massif, les porphyres et mélaphyres en particulier, sont certainement d'âge ladinien (Trias moyen), d'autres roches, comme le granite rose à tourmaline, semblent être liées au cycle alpin bien que formées en partie par du matériel plus ancien.

Les âges que nous avons trouvés (46, 70 et 150 Ma.) sur les mêmes zircons par la méthode des „radiation damage“ n'infirment pas cette hypothèse. Ils prouvent en tout cas qu'il ne s'agit pas de roches formées par une simple et unique différenciation magmatique.

Massif du Bergell

L'âge alpin du massif du Bergell est admis par tous les géologues qui l'ont étudié et en font une intrusion syntectonique tardive ou posttectonique, datant probablement de l'Oligocène sup. ou du Miocène inf. La mise en place aurait suivi immédiatement le paroxysme de l'orogenèse alpine.

On remarque en effet que le granite possède une texture et une structure de roche ignée normale, non laminée, ni mylonitisée ni métamorphisée. Il y a également une nette discordance angulaire entre la direction de la foliation alpine et celle de l'intrusion dont la forme est indépendante de celles des nappes penniques et austro-alpines qu'elle coupe à l'emporte pièce.

Toutefois, pour CITA (1958), la première apparition d'éléments du granite du Bergell dans le Nagelfluh de Come et Varese remonte à la limite Oligocène inf. et moy. La mise en place du batholite ne pourrait donc être postérieure à l'Oligocène inf., ce qui signifie que le granite devrait avoir plus de 30 Ma. Il s'ensuit que l'intrusion ne saurait être considérée comme post-tectonique.

Les valeurs trouvées par GRÜNENFELDER et STERN (1960) sur les zircons du granite du Bergell par la méthode Pb/alpha (25 et 30 Ma.) semblent donc un peu faibles, d'autant plus que l'on doit s'attendre à trouver, avec cette méthode, des âges plutôt trop élevés que trop faibles du fait qu'il n'est pas possible de soustraire la quantité de Pb non radio-

génique. Les valeurs que nous avons obtenues sont encore plus faibles: 21 et 24 Ma., ce qui correspond à un âge Miocène inf.

Ces résultats confirmeraient donc plutôt les premières hypothèses avancées sur l'âge de ce granite, qui devrait être compris entre 24 et 30 Ma. (Oligocène moy. ou sup.). Il est cependant possible que la cristallisation ait débuté il y a un peu plus de 30 Ma. Le granite aurait été placé ensuite dans des conditions de température et de pression telles que le dommage causé à la structure du zircon s'efface au fur et à mesure. On peut également imaginer que la cristallisation ait été très lente et qu'au moment où la partie supérieure de la coupole granitique était érodée, la formation du granite continuait en profondeur, dans les zones exposées actuellement.

Diorite de Bassetta (zone du Tonale)

Cette roche ignée est située dans la zone des racines, au N de la ligne Iorio-Tonale, ou ligne insubrienne, qui sépare le domaine alpin, au N, du domaine insubrien, au S. Elle forme une bande très allongée, de direction E-W, parallèle aux différentes unités tectoniques, et qui se poursuit de Bellinzona jusqu'au massif du Bergell, au NE du lac de Côme. Elle limite au S la zone de Bellinzona-Dascio et elle est séparée de la ligne insubrienne par la série du Tonale. En Suisse, on l'appelle tonalite de Melirolo tandis que, dans les cartes italiennes, elle porte le nom de diorite de Bassetta.

Cette tonalite ne présentant pas de contact avec des roches datées, son âge n'est pas connu avec exactitude. STAUB (1918) pense qu'il s'agit d'un faciès basique de bordure du massif du Bergell. Pour AMSTUTZ (1955), il s'agit d'une intrusion subvolcanique hercynienne post-orogénique. Pour d'autres géologues (CORNELIUS, 1928; WEBER, 1957), cette roche est une intrusion alpine syntectonique. Sa mise en place se serait effectuée pendant la phase principale du plissement alpin, entre l'Eocène et l'Oligocène sup. NOVARESE (1929), au contraire, considère la diorite de Bassetta comme une intrusion prétertiaire. MERLA (1935), quoique ne réfutant pas les arguments de NOVARESE, penche plutôt pour l'hypothèse d'une intrusion alpine syntectonique.

Les deux déterminations que nous avons effectuées donnent des âges concordants de 32 et 33 Ma., qui confirment donc l'hypothèse que la tonalite est une intrusion syntectonique d'âge alpin dont la mise en place remonte approximativement à l'Oligocène inf.

Massif de l'Adamello

L'âge du batholite de l'Adamello n'est pas connu avec plus de certitude que celui des autres massifs jalonnant la bordure S des Alpes. La roche ignée métamorphise par contact des bancs calcaires triasiques. Du point de vue tectonique, les remarques que nous avons faites à propos du massif du Bergell s'appliquent également à celui de l'Adamello, aussi l'âge alpin de ce dernier ne fait-il pas de doute.

Les cinq âges que nous avons obtenus, compris entre 21 et 39 Ma. semblent prouver que la cristallisation remonte à l'Oligocène inf. ou moy. Il est toutefois probable que la formation de ce massif de grande dimension déborde de part et d'autre de ce cadre historique trop étroit.

Coupole de Verampio et nappe d'Antigorio (Pennique inférieur)

Les granites gneissiques et gneiss œillés formant le cœur des nappes penniques les plus profondes sont d'anciennes roches liées au cycle hercynien. Les zircons donnent des âges „Pb total“ compris entre 200 et 300 Ma. Ces roches ont ensuite recristallisé largement lors de l'orogenèse alpine. Les micas de ces roches donnent des âges Rb-Sr très jeunes, généralement inférieurs à 20 Ma. (JÄGER, 1962). Les valeurs obtenues sur les zircons par la méthode des „radiation damage“ sont du même ordre de grandeur (15 et 16 Ma.).

Ces âges très jeunes s'expliquent par le fait qu'il s'agit des formations les plus profondes de l'édifice des nappes alpines, enfouies à des profondeurs où des températures élevées ont régné plus tardivement que dans les nappes plus hautes. La concordance entre les âges Rb-Sr et „radiation damage“ prouve que les effets de la température et de la pression ont suffi à effacer totalement les dommages structuraux éprouvés auparavant par les zircons.

Massif du Montgenèvre

Le massif du Montgenèvre, dans le Dauphiné, formé essentiellement de roches basiques et ultrabasiques (gabbro, serpentine, etc.), contient une syénite filonienne qui paraît recouper les autres formations.

Les zircons de cette syénite ont donné un âge de 101 Ma., c'est-à-dire crétacé moyen; il est impossible à l'heure actuelle de déterminer géologiquement l'âge de ce massif avec exactitude. Toutefois, des formations de même type situées dans d'autres régions des Alpes (aux Grisons parti-

culièrement) semblent bien être d'âge crétacé. Il paraît donc normal d'admettre que le massif du Montgenèvre, dont la position tectonique est encore discutée, est d'âge crétacé.

Nappe de la Dent Blanche (Austro-alpin inférieur)

Les zircons d'un „gneiss d'Arolla“ et d'un granite à hornblende, appartenant à la série d'Arolla, ont fait l'objet de déterminations d'âge. Par la méthode du „Pb total“, les zircons du gneiss ont donné un âge un peu plus faible (258 Ma.) que ceux du granite (330 Ma.). Ces deux roches sont donc certainement hercyniennes, probablement anté-Westphaliennes, l'âge moins élevé du gneiss étant peut-être dû aux phénomènes ayant causé la transformation du granite en gneiss.

Par la méthode des „radiation damage“, le granite donne également un résultat plus élevé (140 Ma.) que le gneiss (89 Ma.). L'âge apparent de ce gneiss ne permet cependant pas, comme c'est le cas pour ceux des nappes penniques inférieures, d'affirmer que la structure gneissique est d'âge alpin, bien que cela soit fort possible. Nous ne savons d'ailleurs pas encore si la superposition de la série d'Arolla à celle de Valpeline s'est accomplie pendant l'orogenèse alpine ou auparavant.

Gneiss de la zone de Strona (domaine insubrien)

La zone de Strona fait partie du cristallin insubrien d'âge anté-alpin. Elle est limitée au N par la série kinzigitique de la zone d'Ivrée et au S par les porphyres permiens du Luganais et le mésozoïque des Dinarides.

On ne connaît pas encore l'âge du ou des métamorphismes ayant affecté le domaine situé au S de la ligne insubrienne. Pour NOVARESE (1931), le métamorphisme des roches des zones d'Ivrée et de Strona est anté-Carbonifère. SCHILLING (1957) pense que ce métamorphisme, quoique d'âge indéterminé, est vraisemblablement précambrien.

Les quelques évaluations d'âge absolu obtenues jusqu'à maintenant, bien que peu nombreuses, permettent cependant d'éclaircir quelques problèmes. Ainsi, nous savons que le granite de Baveno, intrusif dans les zones d'Ivrée et de Strona, est d'âge hercynien. Des roches basiques, de caractère syn- et préTECTONIQUE, recoupent également les gneiss du socle. Il semble donc que le dernier métamorphisme régional important ne puisse être plus récent que le Carbonifère inférieur.

L'âge apparent de ce gneiss, 266 Ma., est le plus élevé que nous ayons déterminé jusqu'à maintenant dans les Alpes par cette méthode.

Or, sachant la facilité avec laquelle le dommage causé à la structure du zircon sous l'effet des radiations peut se cicatriser, on est en droit d'affirmer que le métamorphisme alpin n'a guère touché la zone de Strona. Cet âge élevé tient certainement aussi au fait que les zircons de ce gneiss sont très anciens, comme le prouve le résultat de 613 Ma., obtenu par la méthode du „Pb total“.

Il n'est pas encore possible, sur la base d'un seul résultat, d'assigner un âge précis au premier métamorphisme régional ayant affecté le domaine insubrien. Cependant, la présence d'un métamorphisme lié à une orogenèse très ancienne, certainement anté-carbonifère, probablement paléozoïque inf. ou précambrienne sup., nous semble plausible.

Massifs de l'île d'Elbe et de Gavoranno (Apennin toscan)

Le granite de l'île d'Elbe a fourni à la géochronométrie l'occasion d'une de ses plus belles réussites. En effet, il ne faisait aucun doute, pour les savants qui avaient étudié la géologie de l'île d'Elbe que, si le granite du Monte Capanne était de formation relativement récente, sa mise en place remontait tout de même à une période comprise entre l'Eocène sup. et le Miocène moy., c'est-à-dire entre 20 et 40 Ma. L'estimation de ces limites était basée sur les observations suivantes: la roche ignée métamorphise par contact des microbrèches nummulitiques; on trouve des galets de granite du type de celui de l'île d'Elbe dans des conglomérats attribués au Pliocène inf. ou au Miocène sup. Pour WIJKERSLOOTH (1934), très précis dans son estimation, l'intrusion daterait du Priabonien. Signalons encore que le granite d'Elbe avait été choisi comme échantillon étalon pour les déterminations d'âge apparent par la méthode des halos pléochroïques. Pour DEUTSCH et LONGINELLI (1959), sur la base des résultats obtenus par cette méthode sur des granites tertiaires de l'Apennin toscan, l'âge absolu du massif de l'île d'Elbe doit être voisin de 30 Ma.

Or, le granite du Monte Capanne est certainement beaucoup plus jeune. Les deux déterminations que nous avons effectuées donnent des âges concordants de 7,5 et 8 Ma, valeurs qui sont très proches de celles obtenues par FERRARA et coll. (1961) par la méthode Rb-Sr. Ces auteurs ont effectué plusieurs déterminations sur des minéraux enrichis en Rb et trouvent une moyenne de 7 Ma.

A côté du massif de l'île d'Elbe, il existe d'autres petits pointements granitiques en Toscane. Citons ceux de Gavoranno, Campiglia, Monte-cristo. On a toujours considéré que ces intrusions étaient plus ou moins

contemporaines, les plus orientales étant éventuellement un peu plus jeunes.

Nous avons effectué une détermination sur les zircons du granite de Gavoranno, qui forme un petit massif sur le continent, à l'E de l'île d'Elbe. Le résultat obtenu, 19 Ma., est donc nettement plus élevé que ceux trouvés pour les zircons du granite de l'île d'Elbe. Les zircons de Gavoranno, d'autre part, sont beaucoup moins radioactifs (430 alpha/mg.h) que ceux d'Elbe (2826 et 3121 alpha/mg.h), très radioactifs et de couleur verte, alors que ceux de Gavoranno sont roses.

Ainsi, il est probable qu'il y a eu, en Toscane, plusieurs venues granitiques nettement séparées dans le temps. Si le granite de Gavoranno a vraiment environ 20 Ma. (Miocène moy.), on s'explique facilement la présence de galets granitiques dans des sédiments du Pliocène inf.

CONCLUSIONS

Les résultats obtenus montrent que cette méthode des „radiation damage“ se prête bien à l'évaluation de l'âge des roches ignées jeunes, qui n'ont pas été réchauffées après leur consolidation.

Par contre, les massifs qui ont été métamorphisés lors d'orogenèses ultérieures ne peuvent être datés avec exactitude par cette méthode. Les âges obtenus sur les zircons du granite de Baveno, par exemple, prouvent qu'un métamorphisme très léger, d'épizone, suffit à provoquer une recristallisation significative des zircons. Les gneiss des nappes penniques inférieures, placés dans des conditions de catazone lors du métamorphisme alpin, donnent des âges très jeunes, ce qui signifie que les zircons ont bénéficié d'un effacement total du dommage causé à leur structure. Il sera ainsi possible d'obtenir des indications sur le degré de recristallisation de roches anté-alpines.

PROVENANCE DES ÉCHANTILLONS

- 23 B 1 Carrière route Rosazza-Oropra, alt. 1120 m.
- 60 B 2 Carrière de Balma.
- 26 Ba 1 Carrière extrémité SW massif Monte Orfano, au N du massif de Baveno.
- 42 Ba 2 Carrière route Feriolo-Gravelonna, extrémité N du massif de Baveno.
- 45 Ba 3 Carrière de Baveno, partie NE du massif.
- 117 Pz 1 1 km au N de Predazzo, rive gauche de l'Avisio.
- 158 Pz 3 1 km à l'E de Predazzo, rive droite de la Travignolo.

- 154 Pz 2 2 km à l'E de Predazzo, rive droite de la Travignolo.
 31 Bl 3 Vallun dal Largh, versant N du Piz Bacun, partie N du massif.
 57 Bl 5 Versant N du Piz Badile, val Bondasca, partie NW du massif.
 29 Bs 1 Carrière 1 km E de Sorico, rive droite de la Mera, au N du Lac de Côme.
 44 Bs 2 Carrière 500 m au NE de Fta. di Dubina, rive gauche de la Mera, au N du Lac de Côme.
 30 Ad 1 Valle Nambrone, 5 km N de Pinzolo, Adamello oriental.
 47 Ad 2 8 km W de Villa Rendena, Adamello oriental.
 79 Ad 5 Carrière Val di Genova, 3 km NW de Pinzolo, Adamello oriental.
 51 Ad 3 2 km SW de San Antonio di Marignola, Adamello oriental.
 78 Ad 4 6 km NE d'Edolo, versant NW Monte Adamello.
 59 Ant 3 Carrière rive gauche Val d'Antigorio, en face de Verampio.
 122 Ant 4 Route du Simplon, 3 km au NW de Gondo.
 104 Mt 1 Replatte du Gondran.
 144 DB 1 Alpe de Ferpècle, rive droite de la Borgne, val d'Hérens.
 152 DB 2 Versant NW de la Dent Blanche, au-dessus de Briccola, val d'Hérens.
 89 St 1 1,5 km NE de Cannero, au bord du Lac Majeur.
 46 Eb 2 Versant N du Monte Capanne, sur la route entre Poggio Terme et Marciana.
 50 Eb 3 Au N de Pomonte, partie SW du massif.
 131 Ga 1 Village de Gavoranno.

BIBLIOGRAPHIE

BSMP = Bulletin suisse de Minéralogie et Pétrographie

- AMSTUTZ, A. (1955): Pennides au N et NW du Lac de Côme (note préliminaire). Arch. Sc. Genève, 814.
- 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. BSMP, 42, p. 295.
- CHESSEX, R. et VUAGNAT, M. (1961): L'âge du massif de Traversella (Piémont, Italie) par la méthode des „dommages dus à la radioactivité“. Bull. Soc. vaud. Sc. nat., 67, p. 395.
- CHESSEX, R., DELALOYE, M., KRUMMENACHER, D. et VUAGNAT, M. (1964): Nouvelles déterminations d'âges „plomb total“ sur des zircons alpins. BSMP, 44.
- CITA, M. B. (1954): Studi stratigraphici e micropaleontologici sulle formazioni comprese fra il Nummulitico ed il Pliocene nel territorio di Varese. Boll. Serv. Geol. Italia, 75.
- CORNELIUS, H. P. (1928): Zur Altersbestimmung der Adamello- und Bergeller Intrusion. Sitz.ber. Akad. Wiss. Wien, 137, p. 541.
- DEUTSCH, S. et LONGINELLI, A. (1959): Age des halos pléochroïques de quelques granites tertiaires de la Toscane. Experientia, 15, p. 8.
- DEUTSCH, S., PICCIOTO, E. et NIGGLI, E. (1958): Age des halos pléochroïques des granites de Baveno et de Monte Orfano. Experientia, 14, p. 128.

- FERRARA, G., HIRT, B., MARINELLI, G. et TONGIORGI, E. (1961): Primi risultati sulla determinazione con il metodo del rubidio-stronzio dell'età di alcuni minerali dell'Isola d'Elba. *Boll. Soc. Geol. Italiana*, 80, p. 1.
- GRÜNENFELDER, M. et STERN, T. W. (1960): Das Zirkon-Alter des Bergeller Massivs. *BSMP*, 40, p. 253.
- JÄGER, E. et FAUL, H. (1959): Age measurements on some granites and gneisses from the Alps. *Bull. Geol. Soc. Amer.*, 70, p. 1553.
- JÄGER, E. (1962): Rb-Sr Ages determinations on micas and total rocks from the Alps. *J. Geoph. Res.*, 67, p. 5293.
- KRUMMENACHER, D. et EVERNDEN, J. F. (1960): Déterminations d'âge isotopique faites sur quelques roches des Alpes par la méthode K/A. *BSMP*, 40, p. 267.
- MARINELLI, G. (1959): Le intrusioni terziarie dell'Isola d'Elba. *Atti Soc. Tosc. Sc. Nat.*, 66, p. 50.
- MERLA, G. (1935): Le formazioni cristalline fra l'alto Lario e la val Bregaglia. *Boll. del R. Uff. Geol. Italia*, 60, 18 p.
- NIGGLI, P. (1922): Der Taveyannazsandstein und die Eruptivgesteine der jungen mediterranen Kettengebirge. *BSMP*, 2, p. 169.
- NOVARESE, V. (1929): La zona del Canavese e le formazioni adiacenti. *Mem. descr. carta geol. Italia*, 22, p. 65.
- (1933): L'età del granito del Lago Maggiore. *Boll. del R. Uff. Geol. Italia*, 58, 32 p.
- STAUB, R. (1918): Geologische Beobachtungen am Bergeller Massiv. *Vjschr. Natf. Ges. Zürich*, 63, p. 1.
- (1949): Betrachtungen über den Bau der Südalpen. *Eclogae geol. Helv.*, 42, p. 215.
- WEBER, J. (1957): Petrographische und geologische Untersuchung des Tonalitzuges von Melirolo-Sorico zwischen Tessintal und Comersee. *BSMP*, 37, p. 267.
- WIJKERSOOTH, DE P. (1934): Bau und Entwicklung des Apennins. *Geol. Inst. No. 130*, Amsterdam (Hollande).

Manuscript reçu le 20 septembre 1963.