

REPÈRES GÉOCHRONOLOGIQUES
DANS LES ZONES INTERNES DES CORDILLÈRES BÉTIQUES,
AU SUD-OUEST DE LA SIERRA NEVADA (ESPAGNE) (*)

par JEAN BOULIN (**), DOLLY LEDENT (***) et PAUL PASTEELS (****)

(1 figure et 2 tableaux)

SUMMARY

An attempt to date the prealpine basement of the Inner Zones of the Betic Cordilleras (Spain) has been only partly successful. Rb-Sr whole-rock systems fail to define an isochron, while a highly discordant set of radiometric ages on zircon cannot be interpreted unequivocally. The prealpine metamorphism may be Caledonian, but possibly also Hercynian or Cadomian.

An isochron muscovite-microcline-whole rock indicates a 0 ± 1 m.y. age. Alpine metamorphism therefore appears to have been very intense and have ceased very recently.

Une série d'échantillons de roches cristallophylliennes a été prélevée au Sud-Ouest de la Sierra Nevada, dans les Zones internes des Cordillères bétiques, en vue de rechercher, en appliquant la méthode Rb/Sr, l'âge des événements cristallo-génétiques successifs dont une étude pétrographique préalable avait révélé l'existence dans ces roches (2). Ces échantillons proviennent des environs du village de Torrox (1), dans le massif de Velez-Málaga. Ils appartiennent aux termes inférieurs de la série métamorphique anté-triasique qui représente là le Domaine alpujarride (J. BOULIN, 1968). L'ensemble dans lequel ont été effectués les prélèvements est homogène au point de vue structural — il appartient à la semelle de la nappe de la Mona — mais hétérogène au point de vue pétrographique. On y trouve, en effet, micaschistes, gneiss ceillés et niveaux de roches leucocrates granitoïdes, dont l'association présente, sur le terrain, les caractères de migmatites. Il s'agissait de rechercher l'âge, présumé ancien, hercynien, calédonien ou autre, de la formation de celles-ci et de

(*) Communication présentée durant la séance du 29 avril 1969. Manuscrit déposé le 13 mai 1969.

(**) Laboratoire de Géologie historique de la Faculté des Sciences de Paris et Équipe de Recherche associée au C.N.R.S. : « Géologie de la Méditerranée occidentale ».

(***) Service de Minéralogie-Pétrologie de l'Université Libre de Bruxelles, 50, avenue F.-D. Roosevelt, Bruxelles 5.

(****) Chargé de Recherches au Fonds National Belge de la Recherche Scientifique, Service de Minéralogie-Pétrologie de l'Université Libre de Bruxelles, 50, avenue F.-D. Roosevelt, Bruxelles 5.

(1) Feuille n° 1054, Velez-Málaga de la Carte topographique d'Espagne au 1/50 000. Les prélèvements ont été effectués aux environs du point de coordonnées : $x = 0^{\circ}15'30''$, $y = 36^{\circ}34'30''$.

(2) Ce travail a été réalisé dans le cadre des activités du Centre Belge de Géochronologie, qui groupe les Services de Géologie et Géochimie Nucléaires, de Minéralogie-Pétrologie, de l'Université Libre de Bruxelles, et le Musée Royal de l'Afrique Centrale.

déceler aussi les effets de recristallisations alpines, assurément subies par ces roches puisque le Trias qui en couronne la série est lui-même recristallisé.

A. — Les résultats des mesures Rb/Sr effectuées sur ces roches sont présentés au tableau I. Les mêmes données ont été reportées figure 1, sur le graphique des isochrones (NICOLAYSEN, 1961). Ce tableau montre que trois types d'échantillons ont fait l'objet des mesures. Ils étaient d'aspect assez différent. Ces mesures ont été faites en « roche totale ». Les trois points expérimentaux correspondants ne définissent pas de droite isochrone en sorte que l'âge de ces roches demeure indéterminé. Deux explications s'offrent alors pour comprendre ces résultats assez peu satisfaisants *a priori*.

- l'ensemble au sein duquel les prélèvements ont été opérés comporte des roches qui se sont formées à des époques très différentes.
- les échantillons ne se sont pas comportés en système fermé pour le rubidium et le strontium au cours du métamorphisme alpin.

La première de ces explications semble devoir être exclue au profit de la seconde si l'on retient que l'ensemble échantillonné s'avère strictement homogène. Si la deuxième de ces hypothèses, retenue de la sorte, est bien correcte, les âges apparents obtenus, calculés en admettant une valeur proche de 0,71 pour le rapport isotopique 87/86 du strontium présent à l'origine sont sans signification réelle et on ne peut donc conclure, dans la région étudiée, ni à l'existence de roches hercyniennes (âgées

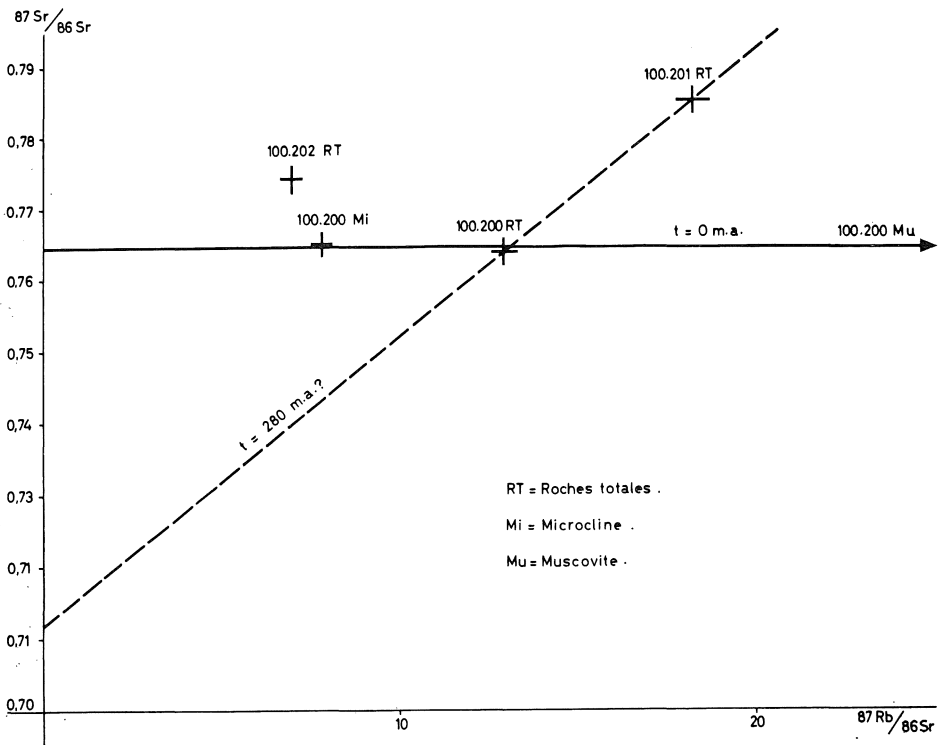


Fig. 1. — Graphique des isochrones Rb/Sr.

de 280 m.a. environ), ni à celle de roches précambriennes terminales (630 m.a.). La droite isochrone, correspondant à un âge de 280 m.a., tracée en traits interrompus sur la figure 1, a donc un caractère hypothétique et il ne faut pas non plus attribuer de signification particulière aux « âges » figurant sur le tableau I. Il reste cependant que, à moins que le métamorphisme alpin n'ait altéré d'une manière très sensible le rapport Rb/Sr des roches considérées, celles-ci sont soit paléozoïques, soit d'âge précambrien terminal.

Sur la figure 1, les points relatifs au microcline (Mi), à la roche prise dans sa totalité (RT) et à la muscovite (Mu) de l'échantillon 100.200 définissent un isochrone d'âge 0 ± 1 m.a. En d'autres termes, les deux minéraux considérés et la roche totale contiennent, à l'heure actuelle, un strontium de même composition isotopique. Or, on sait que, lors du métamorphisme, les redistributions du strontium radiogénique entre les différentes phases minérales sont aisées. L'isochrone ainsi définie traduit donc, nécessairement, une homogénéisation très récente.

Ces résultats confirment le fait, maintes fois signalé, que les migrations du strontium se prolongent au-delà du métamorphisme proprement dit et interviennent encore pendant la remontée isostatique qui succède à celui-ci. Cette constatation a d'ailleurs été faite, déjà, dans les Cordillères bétiques elles-mêmes, mais dans leurs secteurs orientaux cette fois et, là, dans les Nevado-Filabrides, ensemble structural situé au-dessous des Alpujarrides dans l'actuel édifice de nappes auquel se ramènent les zones internes de la chaîne. PRIEM et al. (1966), en effet, y ont déterminé deux isochrones Rb/Sr muscovite-roche totale de 12 m.a. et 14 m.a. et les interprètent comme exprimant la fin du métamorphisme alpin. L'indication que l'on obtient ici en ce qui concerne les Alpujarrides est donc du même ordre que celle qui a été obtenue par ces auteurs dans les Nevado-Filabrides. Elle conduit seulement à y attribuer un âge plus récent encore pour la fermeture du métamorphisme alpin et cela, d'ailleurs, sans que les raisons en paraissent claires. Il semble seulement logique d'en conclure que le métamorphisme alpin s'est achevé très tard dans l'Ouest de la chaîne, plus tard en tout cas que dans l'Est.

B. — Si ces indications relatives au métamorphisme alpin subi par ces roches peuvent être obtenues par la méthode Rb/Sr, celle-ci n'a par contre fourni, on l'a vu, aucun moyen de déterminer l'âge des métamorphismes anciens supposés. On a alors tenté d'appliquer au zircon que renfermaient les échantillons récoltés la méthode au plomb. Il ne s'agit, bien entendu, que d'une mesure d'orientation car le prélèvement de ceux-ci n'avait pas été prévu pour l'application de cette méthode. Pour avoir assez de matériel, en effet, on a dû réunir tous les échantillons disponibles et c'est de cet ensemble disparate que l'on a extrait le zircon, cette façon d'opérer étant cependant justifiée par le fait que les échantillons, quoique pétrographiquement distincts provenaient, on le sait, de la même unité géologique et ont été prélevés à peu de distance les uns des autres. Le concentré de zircon obtenu a d'ailleurs paru très homogène. Il était constitué d'individus d'assez grande taille, automorphes, en prismes allongés, très foncés à l'œil nu et troubles sous le microscope. Souvent, ces grands cristaux se sont révélés, au fort grossissement, comme étant en fait constitué d'un agrégat de cristaux plus petits qui peuvent atteindre 10 microns. Cette constatation en même temps que leurs caractères optiques et leur teneur très élevée en uranium indiquent qu'il s'agissait, selon toute vraisemblance, de zircon métamictique recristallisé. Des aspects semblables ont d'ailleurs été décrits dans les Alpes par GRÜNENFELDER et HAFNER (1962) et il semble, d'après cet exemple, que dans la partie considérée des Cordillères bétiques, leur dernière recristallisation se soit opérée, comme dans les Alpes, à la faveur du métamorphisme alpin. Il est exclu, par ailleurs,

qu'une population de zircons métamictiques automorphes soit détritique. Cette variété de zircon est en effet fragile ; elle se brise et s'use au cours d'un éventuel transport. Les zircons observés dans les roches étudiées, recristallisés à l'alpin, se sont donc formés là où les on trouve et assez vraisemblablement au cours de la migmatisation ancienne.

TABLEAU I
Résultats Rb/Sr

Échantillon n°	Rb ppm	Sr com.	Sr ⁸⁷ rad	Sr ⁸⁷ /Sr ⁸⁶	Rb ⁸⁷ /Sr ⁸⁶	Age	
		ppm (1)	ppm (1)			apparent (1) (2)	
Roche totale 100.200	319,3	71,17	0,34	0,7637	12,97	285 ± 20	
Microcline 100.200	387,1	142,5	0,74	0,7648	7,86	481 ± 40	
Muscovite 100.200	817,6	10,25	0,05	0,7638	230,9	16 ± 1	
Roche totale 100.201	350,8	55,43	0,41	0,7851	18,30	282 ± 18	
Roche totale 100.202	157,2	64,86	0,42	0,7741	7,01	629 ± 45	

(1) $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_0 = 0,709$.

(2) $\lambda^{87}\text{Rb} = 1,47 \cdot 10^{-11} \text{ an}^{-1}$.

TABLEAU II
Résultats U/Pb

Fraction	U ppm	Pb rad ppm (2)	Composition isotopique du Pb				Ages apparents (3)		
			204	206	207	208	t206/238	t207/235	t207/206
A	8.410	167,5	0,0824	100	6,511	4,597	140 ± 3	152 ± 5	338 ± 35
B	11.250	219,9	0,1184	100	6,995	6,228	137 ± 3	147 ± 6	333 ± 45

(1) La fraction A est moins magnétique que la fraction B.

(2) Composition isotopique admise pour le plomb commun présent : $206/204 = 18,6$, $207/204 = 15,7$, $208/204 = 38,9$.

(3) $\lambda^{238}\text{U} = 1,537 \cdot 10^{-10} \text{ an}^{-1}$, $\lambda^{235}\text{U} = 9,72 \cdot 10^{-10} \text{ an}^{-1}$, $^{238}\text{U}/^{235}\text{U} = 137,8$.

Le tableau II rassemble les résultats obtenus à partir de ces zircons. Le concentré initial a été subdivisé en deux fractions, de susceptibilités magnétiques différentes, au moyen du séparateur Frantz Isodynamic. On sait que le magnétisme du zircon est fonction du degré de métamictisation et, par conséquent, de la teneur en uranium de ce minéral. Il s'avère que le zircon métamictique est, à tous égards, plus sensible aux agents externes que le zircon bien cristallisé. En particulier, il perd assez facilement une partie du plomb radiogénique qui s'y est accumulé. Cela conduit donc à des âges radiométriques discordants tels que ceux que l'on observe

dans le cas présent avec $t_{206/238} < t_{207/235} < t_{207/206}$. Dans bien des cas, le degré de discordance est fonction de la teneur en uranium et la méthode des « fractions séparées » permet une extrapolation de l'âge. Malheureusement, dans le cas présent, les deux fractions ont livré identiquement les mêmes âges apparents ce qui rend impossible pareille extrapolation.

Il reste cependant à postuler que la perte de plomb s'est faite à la faveur du métamorphisme alpin et en un seul épisode (SILVER et DEUTSCH, 1963). Il est alors possible, dans ce cas, de déterminer l'âge de cristallisation du zircon, mais à la condition que l'âge de la perte soit fixé. Si la perte est censée s'être opérée il y a 0 m.a., le zircon est daté : il a 335 m.a. Si la perte est supposée s'être faite il y a 30 m.a., il a 380 m.a. Il est âgé enfin de 600 m.a. si l'on admet que la perte a pu s'opérer il y a 90 m.a. Comme ces diverses hypothèses paraissent couvrir l'éventail des possibilités, il reste à choisir, pour l'époque de la cristallisation du zircon, l'orogénèse calédonienne ou, à la rigueur, la phase cadomienne, il y a 600 m.a. et l'on ne peut exclure la phase bretonne, il y a 335 m.a. Une réserve enfin : l'indication chronologique obtenue serait trop élevée si des zircons détritiques plus anciens étaient présents dans la roche en même temps que les autres, même en de faibles proportions.

En définitive, on ne peut exclure la possibilité d'un métamorphisme d'âge hercynien dans la région étudiée mais, aussi bien les résultats Rb/Sr obtenus sur « roche totale » que les mesures sur zircon suggèrent l'existence, dans l'ensemble rocheux considéré, d'éléments plus anciens, soit calédoniens, soit même du Précambrien terminal.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier M. L. Cahen pour l'intérêt qu'il a porté à cette étude et M. J. Delhal pour de fructueuses discussions.

BIBLIOGRAPHIE

- BOULIN J., 1968. — Études géologiques dans les zones internes des Cordillères bétiques, de Malaga à Motril (Espagne). Thèse, Paris.
- GRÜNENFELDER, M. et HAFNER, S., 1962. — Über das Alter und die Entstehung des Rotondogranits. *Bull. suisse Min. Pétr.*, **42**, 169-207.
- NICOLAYSEN, L. O., 1961. — Graphic interpretation of discordant age measurements on metamorphic rocks. *Ann. N. Y. Acad. Sci.*, **91**, 197-1206.
- PRIEM, H. N. A., BOELRIJK, N. A. C. M., HEBEDA, E. H. et VERSCHURE, R. H., 1966. — Isotopic age determinations on tourmaline granite-gneisses and a metagranite in the eastern Betic Cordilleras (South-Eastern Sierra de Los Filabres), S. E. Spain. *Geologie en Mijnbouw*, **45**, 184-187.
- SILVER, L. T. et DEUTSCH, S., 1963. — Uranium-lead isotopic variations in zircons : a case study. *J. Geol.*, **71**, 721-759.

