

PREMIERE MESURE GEOCHRONOLOGIQUE EN SIERRA MORENA

La granodiorite de Fontanosas (Province de Ciudad Real, Espagne)

F. LEUTWEIN¹), F. SAUPÉ¹), J. SONET¹) et E. BOUYX²)

RESUME

La datation par les méthodes Rb-Sr et K-A de la roche totale et de plusieurs minéraux de deux échantillons de la granodiorite de Fontanosas (Ciudad Real, Espagne) a donné pour celle-ci un âge de 302 M.a. L'âge de ce stock tardi-ou post-tectonique, joint à des critères stratigraphiques permet d'attribuer le plissement principal de la région d'Almadén à la phase sudète.

I - INTRODUCTION

On connaît dans la région d'Almadén, au Nord du batholite granitique de Los Pedroches, trois stocks de granite (Almeida et al, 1962). Ces stocks montrent entre eux et avec ce batholite une grande similitude chimique et pétrographique. Ils se distinguent de ce dernier par les manifestations de bordure (faciès de bordure porphyroïde du batholite de Los Pedroches qui n'apparaît pas autour des stocks) et surtout par leur forme et leurs relations avec la tectonique: le batholite apparaît concordant, du moins en direction, avec la tectonique régionale et semblerait donc syncinématique, alors que les stocks, nettement circonscrits, sont implantés de façon quelconque par rapport aux plis et sont tardi- ou post-tectoniques.

La datation de l'un de ces stocks permet de préciser un aspect de l'histoire géologique de cette

région étudiée par nous (Bouyx, 1969 et Saupé, 1967).

La similitude des différents stocks autorise à n'en étudier qu'un seul. Celui de Fontanosas a été retenu parce qu'il a fourni les échantillons les plus frais et a montré la plus grande homogénéité du point de vue chimique. Deux échantillons représentatifs du stock ont été choisis, pour chacun d'eux, la roche totale et plusieurs minéraux soigneusement séparés ont été analysés suivant les techniques habituelles du C.R.P.G. Les détails techniques ont été exposés ailleurs (Sonet, 1967).

II - DONNEES GEOLOGIQUES

a. Conditions de gisement

Le stock de Fontanosas, situé à l'Est du village de ce nom, sur la route d'Almadén - Ciudad Real, a une superficie d'une dizaine de kilomètres carrés. Dans le paysage il se présente comme une dépression entourée d'une auréole de métamorphisme de contact formant un faible relief. En bordure s'observent des filons de rhyolite grise. Ce stock, comme les deux autres est tardi- ou post-tectonique, traversant à l'emporte pièce les terrains plissés.

Le premier échantillon analysé (EG 192) provient d'une carrière du bord Sud de ce stock, située sur les bords du Rio Quéjigal, à 250 m au Nord du pont routier traversant ce ruisseau. Le deuxième (EG 193) a été prélevé à 100 m à l'Ouest de la Casa de Los Linos dans une petite carrière, en direction du bord Nord de ce stock. La composition chimique de ces échantillons est donnée dans la table I.

¹) Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques, C.N.R.S. Case Officielle no. 1-54-Vandoeuvre (France).

²) Laboratoire de Géologie Historique de la Sorbonne, 75-Paris.

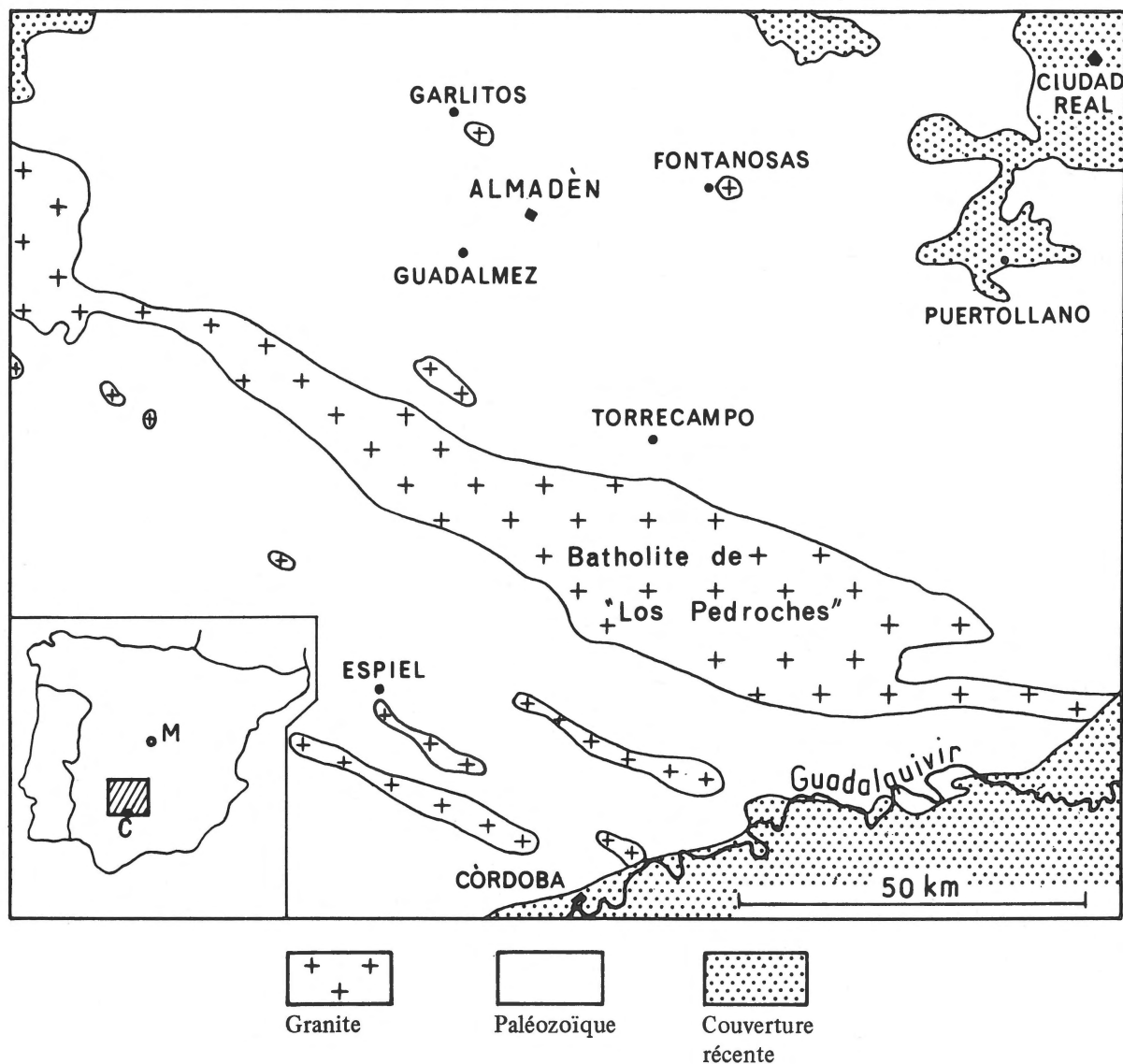


Fig. 1

Plan géologique de situation (Extrait du "Mapa Minero de Espana" de la Conchalet Suarez, 1964).

b. Pétrographie

La description qui suit est tirée d'une publication en préparation (S a u p é). A l'oeil nu apparait une roche grise dont les biotites sont les seuls éléments colorés, alors que les feldspaths sont remarquablement blancs. La texture est grenue, à tendance porphyroïde. On peut observer des enclaves homogènes, les unes arrondies, les autres allongées, d'un gris plus sombre que la roche.

L'étude microscopique précise cette image:

Le quartz: est xénomorphe et en grains légèrement engrenés. Il présente une extinction roulante et quelquefois un aspect cataclaté (Analyse modale: 29%).

L'orthose est perthitique, xénomorphe et intersticielle. Elle est recouverte d'une fine poussière d'altération. (A. mod.: 16%).

Le plagioclase est le minéral le plus abondant. Il est généralement automorphe et ses cristaux sont tous maclés et nettement zonés. Il est généralement frais (An = 25 à 30%)

TABLEAU 1

Composition chimique des deux échantillons datés
(roche totale)

	EG 192	EG 193		EG 192	EG 193
SiO ₂	66,60%	65,90%	K ₂ O	3,51%	3,61%
Al ₂ O ₃	16,35	16,05	TiO ₂	0,55	0,52
Fe ₂ O ₃	3,96	3,66	P.F.	0,93	0,98
			total	99,97%	98,98%
MnO	0,06	0,06			
MgO	1,98	2,17	Sr	222 ppm	218 ppm
CaO	2,47	2,57	Rb	147 -	146 -
Na ₂ O	3,56	3,46			

Analyses effectuées au quantomètre sous la direction de
M.K. Govindaraju (sauf pour Rb et Sr).

(A. mod.: 36%).

La *biotite* se présente sous forme de grandes lamelles plus ou moins tordues, à extinction roulante et de couleur rouge brun. Les inclusions d'apatite et de zircon sont abondantes, celles d'opakes plus rares. Une légère décoloration se remarque sur les bords, de même qu'une chloritisation débutante.

Les contacts entre quartz et biotite peuvent être poecilites. Une altération en fuseau, s'observe quelquefois: le minéral néoformé n'a pu être déterminé. (A. mod. 17%).

La *cordiérite*, nettement subordonnée, existe dans le faciès de bordure (EG 192) et reste assez fraîche.

La *tourmaline* apparaît en plages discontinues, légèrement altérée. Elle est verte (Schörl) et remplit les vides entre les phénocristaux.

Le *sphène* se rencontre soit xénomorphe, soit en grains automorphes.

Les *minéraux opaques* sont équantes, toujours xénomorphes et subordonnés.

Les enclaves contiennent essentiellement de la biotite et du quartz en grains plus fins que ceux de la roche, ainsi que de rares grenats.

Cette roche est donc une granodiorite.

c. Age des plissements

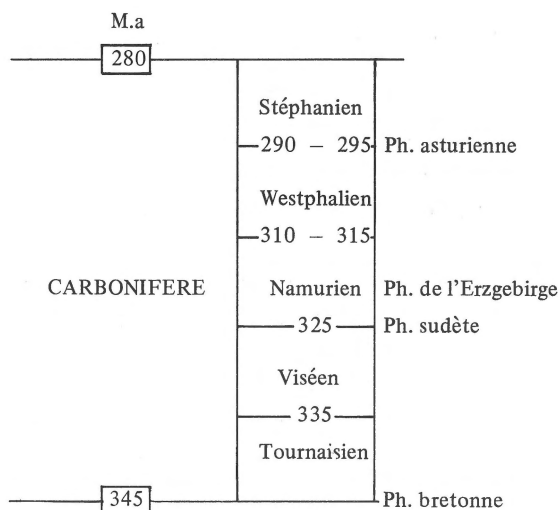
Les terrains les plus récents recoupés par la granodiorite de Fontanosas correspondent à l'Ordovicien inférieur (Quartzite armoricain et schiste à Calymene du Llandeilo). En revanche le stock de Carlitos (Badajoz), situé à 45 km vers le Nord-Ouest Ouest, recoupe des formations dévoniennes du syn-

clinal de Garlitos dans lesquelles A. Almeida et al (1961, 1962) ont identifié du Givetien.

On sait d'autre part que dans le synclinal de Guadalmez (Ciudad Real) situé à une dizaine de km au Sud d'Almadén et qui correspond à la même phase tectonique, le Dévonien est suivi, en concordance apparente, par un Carbonifère, dans lequel A. Almeida et al. (1961, 1962) ont reconnu du Dinantien et du Westphalien. Mais cette attribution des couches les plus élevées du synclinal de Guadalmez n'est cependant pas unanimement admise. Ainsi H. Puschmann (1967) considère qu'à Torrecampo (Córdoba) à 30 km au Sud-Est de Guadalmez, ce niveau correspondrait en fait au Viséen inférieur.

A Puertollano (Ciudad-Real) enfin, on connaît un bassin houiller sub-horizontale dont les faibles ondulations peuvent être rapportées à une compaction ou à une légère phase tectonique tardive. Ce houiller repose en discordance sur l'Ordovicien fortement plissé. Selon R.H. Wagner et J. Utting (1967) ce bassin doit être daté en Stéphanien B (moyen ou supérieur) ou C.

Comme F. Lotze (1945) l'avait déjà souligné, les plissements se sont donc produits entre le Viséen et le Stéphanien. Mais une imprécision subsiste quant à leur âge exact: d'après les observations de terrain



(Symposium Holmes 1964)

(Phases orogéniques)

Fig. 2

Extrait du diagramme comparatif des différentes échelles géochronologiques de F. Lotze (1945).

mentionnées ci-dessus, ils pourraient être (fig. 2) sudètes, erzgebirgiens (bien que cette phase n'ait jamais pu être démontrée en Espagne à notre connaissance) ou asturiens.

A Espiel (Córdoba), où les conditions d'observation sont particulièrement favorables, D. Weissflog (1963) a identifié des mouvements bretons alpinotypes, suivis de mouvements sudètes également alpinotypes, mais moins importants, puis des mouvements asturiens très atténués. Bien que situé dans la zone de l'Ossa Morena, qui présente de notables différences stratigraphiques et structurales avec la zone alcudienne où se trouve implanté la granodiorite de Fontanosas, le bassin d'Espiel revêt une importance particulière, puisqu'il représente le lieu le plus rapproché de notre zone d'observation où les trois premières phases de l'orogénèse hercynienne aient pu être déterminées.

Aux différences ci-dessus mentionnées entre zones de l'Alcudia et de l'Ossa Morena, il convient encore d'ajouter les granites. Le stock étudié diffère sensiblement des masses granitiques décrites par J.P. Bard (1965) dans la moitié occidentale de la Sierra Morena, qui fait partie de l'Ossa Morena.

III - DONNEES GEOCHRONOLOGIQUES

Les études géochronologiques et chimiques ont été conduites sur les deux échantillons décrits. Lors de l'échantillonnage les enclaves ont été soigneusement éliminées. Ces études ont porté, pour chacun d'eux sur l'analyse de la roche totale, de la biotite et de l'orthose par la méthode Rb-Sr et sur biotite par la méthode au K-A, suivant les techniques utilisées au C.R.P.G. et décrites ailleurs (S o n e t, 1967).

Résultats analytiques:

	Nature	Rb ⁸⁷ ppm	Sr comm. ppm	Sr * ppm	Rb ⁸⁷ /Sr ⁸⁶	Sr ⁸⁷ /Sr ⁸⁶	Ages (0,712) M.a.
EG 192	B	149	11,96	0,6615	127,3618	1,2754	302 ± 7
	O	40,5	198	-	2,0965	0,7173	*
	RT	41,5	222	-	1,9087	0,7183	*
EG 193	B	123	16,7	0,5450	75,8259	1,0463	301 ± 7
	O	80	218,9	-	6,5527	0,7414	*
	RT	41,4	217,5	-	1,9546	0,7186	*

B : biotite — O : orthose — RT : Roche totale

Sr^{87}/Sr^{86} normalisé sur la base de $Sr^{86}/Sr^{88} = 0,1194$

Constantes utilisées : $Sr^{86}/Sr^{87} = 0,712$

$$\lambda Rb^{87} = 1,47 \times 10^{-11} a^{-1}$$

Précision: sur les rapports Rb^{87}/Sr^{86} : 3%

sur les rapports Sr^{87}/Sr^{86} (mesurés directement au spectromètre) : 0,2%

Nature	K %	A ⁴⁰ 10 ¹⁵ at/g	Age M.a.
EG 192 B	7,16	2,49	303 ± 15

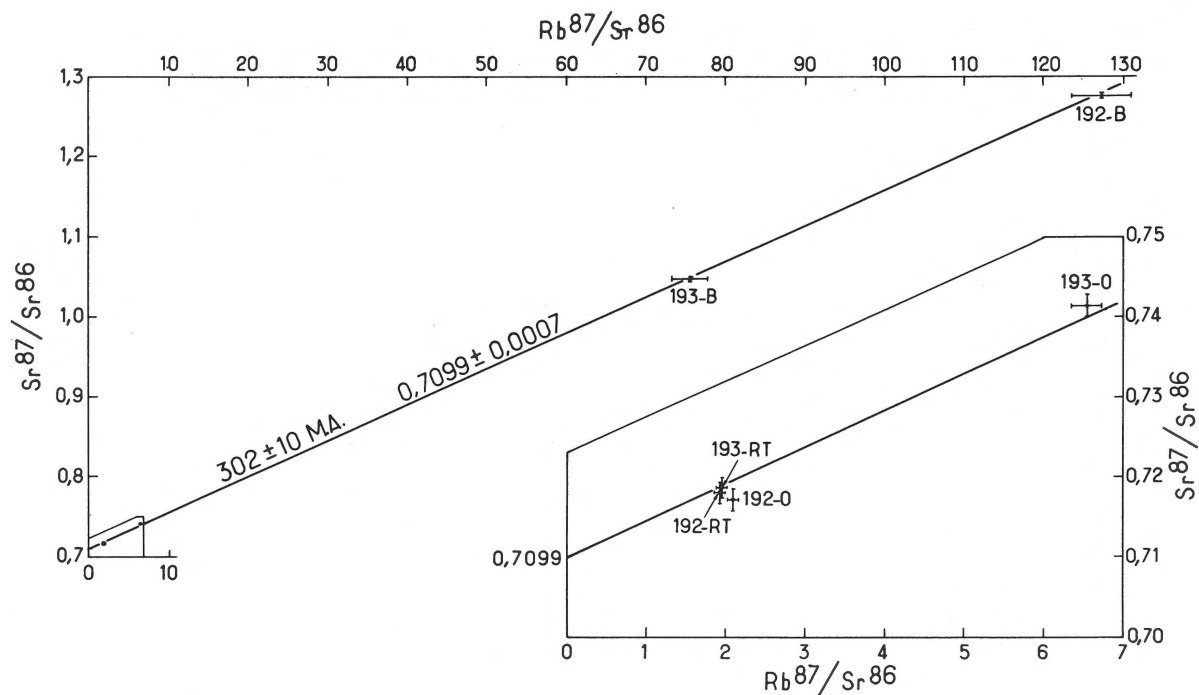


Fig. 3
Diagrammes géochronologiques.

On connaît à Almadén des filons intrusifs basiques, dont l'étude est en cours par l'un d'entre nous (F.S.). Leur datation faite par la méthode au K-A sur la roche totale a donné les âges suivants, 298, 301, et 305 M.a., ± 15 , soit un âge moyen de 301 ± 15 M.a.

L'ensemble des "images" des éléments analysés permet de déterminer par la méthode des moindres carrés une isochrone à $302 \text{ M.a.} \pm 10$ et une ordonnée à l'origine de $0,7099 \pm 0,0007$. Leur disposition et les remarques faites plus haut, relativement à la représentativité des échantillons analysés autorise à attribuer à l'ensemble du massif cet âge isochrone de 302 M.a. et ce rapport initial de $\text{Sr}^{86}/\text{Sr}^{87}$ 0,7099.

Il existe par ailleurs une telle concordance entre ces résultats et ceux qui ont été obtenus par la méthode K-A, que l'âge de la formation du massif de granodiorite ne paraît pouvoir être mis en doute. De même on peut rattacher à ce cycle magmatique les filons basiques d'Almadén.

IV - CONCLUSION: CONSEQUENCES GEOLOGIQUES DE CES RESULTATS

a. Comparaison avec d'autres mesures d'âges absolus, dans la Péninsule ibérique

Une étude bibliographique des analyses géochronologiques³⁾ ayant donné des âges antéalpains pour des roches de la Péninsule ibérique aboutit aux conclusions suivantes:

- on connaît des roches (granite gneiss à riebeckite de la Guia et granite gneiss à biotite de Rebullon) d'âge calédonien et rajeunies par un métamorphisme hercynien à 278 ± 10 et 292 ± 15 M.a. respectivement (Priem et al., 1966).
- la plupart des âges hercyniens mesurés sont de l'ordre de $282 \text{ M.a.} \pm 8$ (Bonhomme et al., 1961 et Priem et al., 1964) ou plus jeunes: 269 ± 6 M.a. (Priem et al. 1966).

³⁾ A l'exception de quelques mesures des références H. Priem et al. (1966 et 1967) toutes ont été faites par la méthode Rb-Sr.

— des âges de l'ordre de 300 M.a. sont connus:

- * biotite du micaschiste de Villalba (293 M.a. $\pm$ 17) surtout si l'on tient compte d'une remarque des auteurs qui pensent que cette biotite a été rajeunie (C a p d e v i l a et al., 1965).
- * muscovite du granite de Guitiriz (301 M.a. $\pm$ 8), qui pour les auteurs date la mise en place de ce granite (C a p d e v i l a et al., 1965).
- * biotites du granite de Traba (302 M.a. $\pm$ 15 et 309 $\pm$ 15) qui auraient été vieilles par chloritisation, les auteurs concluant à un âge de l'ordre de 280 M.a. (P r i e m et al., 1965).

Dans le Nord du Portugal S c h e r m e r h o r n (1956) a pu distinguer avec des critères de terrain les granites:

- plus anciens: syntectoniques et tardi-syntectoniques, à grain moyen ou grossier, à deux micas, mis en place au Westphalien et/ou Stéphanien inférieur;
- plus jeunes: post-tectoniques, soit porphyroïdes et riches en microcline et biotite, soit massifs plus ou moins equigranulaires, de grain moyen à fin et riches en biotite. Ces granites se sont mis en place au Stéphanien supérieur, et/ou Permien.

H.N.A. Priem et coll. ont comparé l'âge des granites appartenant aux deux groupes (P r i e m et al., 1967) et ont remarqué deux groupements de valeurs s'accordant bien avec les observations de L.J.G. Schermerhorn. A cause de l'erreur analytique cet accord reste cependant précaire.

La granodiorite de Fontanosas se rapproche par son âge du groupe des granites plus anciens, bien que par sa pétrographie et son mode de gisement elle présente les caractères des granites plus jeunes.

b. Origine du matériel de la granodiorite de Fontanosas

Le rapport initial "relativement bas" déterminé pour la granodiorite de Fontanosas pose le problème de l'origine des matériaux qui ont servi à son élaboration. En l'absence d'une étude isotopique plus approfondie du contexte local dans lequel elle s'insère, il ne paraît guère possible d'émettre des idées quant à cette origine. Avancer sur la base des statistiques trouvées dans la littérature, l'hypothèse d'une formation magmatique, ou anatectique à partir d'horizons profonds paraît prématuré. Par contre, il

semble certain que sa "mise en place" est associée à une homogénéisation des isotopes du strontium, son évolution postérieure s'effectuant, à l'échelle du massif en système clos.

Les valeurs des rapports K/Rb (très voisins de 200) et Ca/Sr (voisins de 80) pour les deux échantillons analysés sont beaucoup plus proches de celles qu'ont ces rapports dans le cas des schistes (K/Rb = 186 — Ca/Sr = 74) que dans celui des basaltes (K/Rb = 276 — Ca/Sr = 164) après les compilations de K.K. T u r e k i a n et K.H. W e d e p o h l (1961). Il semblerait donc que ce soit plutôt une assimilation de sédiments, de type schisteux, plutôt que de matériel volcanique basique qui soit à l'origine du rapport initial bas.

c. Phases orogéniques de la région d'Almadén

Les arguments de terrains (voir paragraphe II-c) montrent l'absence ou du moins la faible importance de la phase bretonne dans la région d'Almadén. Comme la granodiorite de Fontanosas est westphalienne (Fig. 2), c'est à la phase sudète que s'est produit le plissement principal. Dans le Nord-Est de la province de Séville, c'est-à-dire le bord sud de la zone de l'Ossa Morena, J. F a b r i e s (1963) avait pu conclure, grâce à des critères de terrain, que les granites de cette région, syn- et tardi-tectoniques, étaient liés à la phase sudète. La phase asturienne s'est exprimée alors avant tout par des déformations cassantes. Les plissements à grand rayon de courbure qui sont visibles dans le bassin stéphanien de Puertollano sont alors à ramener à des tassements ou peut-être des mouvements post-stéphanien.

BIBLIOGRAPHIE

- Almela, A., Alvarado, M., Coma, E., Felgueroso, C. & Quintero, I. (1961) — Manchas carboníferas en la provincia de Ciudad Real - Notas Commun. Inst. Geol. Minero Esp. - vol. 64 - p. 197-212.
- Almela, A., Alvarado, M., Coma, J., Felgueroso, C. & Quintero, I. (1962) — Estudio geológico de la region de Almadén - Inst. Geol. España., Bol. no. LXXIII - p. 193-327.
- Bard, J.P. (1965) — Introduction à la géologie de la chaîne hercynienne dans la Sierra Morena occidentale - Rev. Géogr. phys. Géol. dynam., 7, 4, p. 323-337.
- (1967) — Tectoniques superposées et métamorphisme dans la bande cristallophyllienne d'Aracena (province

- de Huelva, Espagne). Bull. Soc. Géol. Fr. (7°), IX, p. 111-128.
- Bonhomme, M., Mendes, F. & Viallette, Y. (1961) – Ages absolus par la méthode au strontium des granites de Sintra et Castro Daire au Portugal - C.R. Acad. Sc. Paris 252, p. 3305-3306.
- Bouyx, E. (1969) – Les formations anté-ordoviciennes de la province de Ciudad Real (Espagne méridionale) - Thèse Paris.
- Capdevila, R. & Viallette, Y. (1965) – Premières mesures d'âge absolu effectuées par la méthode au strontium sur des granites et micaschistes de la province de Lugo (Nord Ouest de l'Espagne) - C.R. Acad. Sc. Paris, 260, p. 5081-5083.
- Fabries, J. (1963) – Les formations cristallines et métamorphiques du Nord Est de la province de Séville (Espagne) - Thèse Nancy.
- Lotze, F. (1945) – Zur Gliederung der Varisziden der iberischen Meseta - Geotekt. Forsch. - H. 6 - p. 78-92.
- Priem, H.N.A., Boelrijk, N.A.I.M. & Verschure, R.H. (1964) Radiometrische ouderdomsbepalingen volgens de Rb Sr methode van "whole-rock" monsters en mineral concentraten van de grofporfierische biotietgraniet in de Serra do Marão, Noord Portugal - Geol. Mijnb., 43, p. 14-17.
- Priem, H.N.A., Boelrijk, N.A.I.M., Verschure, R.H. & Hebeda, E.H. (1965) – Isotopic ages of two granites on the Iberian continental margin: the Traba granite (Spain) and the Berlenga granite (Portugal) - Geol. Mijnb., 44, p. 353-354.
- Priem, H.N.A., Boelrijk, N.A.I.M., Verschure, R.H., Hebeda, E.H. & Floor, P. (1966a) – Isotopic evidence for Upper Cambrian or Lower Ordovician granite emplacement in the Vigo area, Northwestern Spain - Geol. Mijnb., 45, p. 36-40.
- Priem, H.N.A., Boelrijk, N.A.I.M., Hebeda, E.H. & Verschure, R.H. (1966b) – Isotopic age determinations on tourmaline granite-gneisses and a metagranite in the eastern Betic Cordilleras (South-eastern Sierra de los Filabres), S.E. Spain. - Geol. Mijnb., 45, 6, p. 184-187.
- Priem, H.N.A., Boelrijk, N.A.I.M., Verschure, R.H. & Hebeda, E.H. (1967) – Isotopic age determinations on granitic rocks in Northern Portugal - Geol. Mijnb., 46, p. 369-373.
- Puschmann, H. (1967) – Das Paläozoikum im Gebiet zwischen San Benito und Torrecampo (Sierra Morena/ Spanien) - Geolog. en Mijnb., 46, p. 383-391.
- Saupé, F. (1967) – Note préliminaire concernant la genèse du gisement de mercure d'Almadén - Mineral. Depos. v. 2 - p. 26-33, et mémoire en préparation.
- Schermerhorn, L.J.G. (1956) – Igneous, metamorphic and ore geology of the Castro Dairo - São Pedro do Sul - Satão region (Northern Portugal) - Ph. D. thesis, University of Amsterdam, 617 p.
- Sonet, J. (1967) – Contribution à l'étude géochronologique du massif de Mortagne (Vendée) - C.R. Acad. Sc. Paris, 264, p. 225-228.
- Strauss, G.K. (1965) – Zur Geologie der SW iberischen Kiesprovinz und ihrer Lagerstätten, mit besonderer Berücksichtigung der Pyritgrube Lousal-Portugal - Diss. München.
- Tableau comparatif des échelles géochronologiques récemment publiées pour les temps phanérozoïques. (1966) - "Sciences de la Terre", T. XI, no. 4, pp. 367-373, recommandé par la Commission de Géochronologie (International Union of Geological Sciences).
- Turekian, K.K. & Wedepohl, K.H. (1961) – Distribution of the elements in some major units of the Earth's crust. - Bull. Geol. Soc. Am., 72, p. 175.
- Wagner, R.H. & Utting, J. (1967) – Sur le terrain houiller de Puertollano (Province de Ciudad Real, Espagne) - C.R. Acad. Sc. Paris - 264 D - p. 5-8.
- Weisflog, D.J. (1963) – Stratigraphie des Unterkarbons in der Mulde von Belmez-Vacar - Diss. Heidelberg.