

AGE DES INTRUSIONS DE DIORITE ALBITIQUE DE PAYMOGO  
(PROVINCE PYRITEUSE SUD IBERIQUE)  
ET DE LEURS DEFORMATIONS ULTERIEURES  
CONSEQUENCES STRATIGRAPHIQUES<sup>1</sup>

par

Ignace SALPETEUR<sup>2</sup>, Jacques SONET<sup>3</sup> & Jean-Louis ZIMMERMANN<sup>3</sup>

(2 figures et 3 tableaux)

**RESUME.**- La datation K-Ar, avec l'utilisation des méthodes  $Ar^{40}/Ar^{36}$  f.  $K^{40}/Ar^{36}$  et  $Ar^{*40}$  f.  $K^{40}$ , des intrusions de diorite albitique de la zone de Paymogo et de leurs déformations ultérieures met en évidence deux "âges":

- Un "âge" de  $324 \pm 6$  MA (Viséen moyen supérieur) interprété comme celui de la mise en place des intrusions et du métamorphisme qu'elles induisent au contact des formations volcano-sédimentaires de la bordure Nord du Bassin Sud Ibérique. Il apparaît notamment dans les échantillons du coeur de ces intrusions et dans les cornéennes qui leur sont associées, lorsque ces formations sont peu affectées par les déformations tectoniques postérieures et le métamorphisme dynamique subséquent.
- Un "âge" plus jeune de  $280 \pm 3$  MA, qui semble être en relation avec ce métamorphisme dynamique. Il correspondrait au rajeunissement de zones davantage tectonisées, à la périphérie des intrusions dioritiques et au sein de la ride volcanique de Paymogo, lors des événements tectoniques que l'on peut rattacher à la phase tardi-asturienne.

**ABSTRACT.**- Two different ages have been obtained by K-Ar dating, using the  $Ar^{40}/Ar^{36}$  vs  $K^{40}/Ar^{36}$  and  $Ar^{*40}$  vs  $K^{40}$  isochron methods, as applied to albitic dioritic intrusions in the Paymogo region and their subsequent deformation.

- A  $324 \pm 6$  MA "age" (middle-upper Viséan) which is interpreted as that of the intrusions and its contact metamorphism in adjacent volcanic-sedimentary formations at the northern limit of the South Iberian Basin. These values are found more particularly in samples of the core of these intrusions and in the associated hornfels, in those cases where the rock is almost unaffected by later tectonic deformation and subsequent dynamic metamorphism.
- A younger "age" of  $280 \pm 3$  MA seems to be related to this dynamic metamorphism. Samples come from the more tectonized areas in the rim of the dioritic intrusions and from the core of the volcanic ridge at Paymogo; these tectonic events may be related to a late Asturian phase.

CADRE GEOLOGIQUE ET PROBLEMES  
GEOMORPHOLOGIQUES

Le secteur de Paymogo cartographié par l'un d'entre nous (SALPETEUR, 1976, fig. 1) se situe à la bordure Nord du bassin volcano-sédimentaire Sud Ibérique, qui s'allonge sur près de 230 km d'est en ouest et s'étale du nord au sud sur environ 30 km. Ce bassin est bien connu pour son intérêt économique puisque ses fameux gisements de pyrite cuprifère ont été exploités par plus de soixante mines.

Les bases d'une stratigraphie régionale ont été établies dans cette province par VAN DEN BOOGAARD (1967) sur une structure anticlinale simple près de Pomarão, au Portugal. La succession lithostratigraphique de cet auteur peut se résumer en trois termes principaux : (1) schistes à lentilles de quartzite à la base, (2) séquence volcano-sédimentaire intercalaire, surmontée

<sup>1</sup> Manuscrit déposé le 8 novembre 1978.

<sup>2</sup> E.N.S.G.-les-Nancy et P.N.U.D. B.P. 445 Kigali Rwanda.

<sup>3</sup> C.R.P.G., C.O., n° 1, 54500 Vandoeuvre-les-Nancy.

par (3) les faciès grauwakeux du Culm.

Deux niveaux de lentilles calcaires encadrent la séquence volcanique et permettent de la dater (par conodontes) comme supra Famennien et infra Viséen inférieur.

La présence d'un lamellibranche (*Posydonomya Becheri*) en plusieurs endroits de la province pyriteuse dans les faciès schisto-grauwakeux confirme l'âge Viséen inférieur de ces faciès (DELEPINE, 1957, FRISCHMUTT, 1968).

Les datations isotopiques (Rb/Sr) de roches volcaniques en zone portugaise ont donné des âges de  $344 \pm 15$  MA et  $390 \pm 85$  MA. Ces datations portent sur deux échantillons de roches volcaniques de la région de Cercal, analysés en roche totale. Une autre datation donne un âge de  $385 \pm 40$  MA (isochrone Rb/Sr, roche totale) pour six échantillons prélevés sur les différents alignements volcaniques au Portugal (HAMET & DELCEY, 1971). Ces auteurs concluent également au synchronisme des différentes bandes rhyolitiques de la zone portugaise.

Plus récemment, VAN DEN BOOGAARD & SCHERMERHORN (1975) confirment un âge Famennien pour le niveau calcaire infra-volcanique de Cabezas del Pasto (prolongement espagnol du flanc nord de l'anticlinal du Pomaraô) et un âge Viséen inférieur pour des lentilles calcaires situées dans des schistes gris coiffant les tufs acides proches de la minéralisation sulfurée à Sotiel Coronoda (Espagne).

En conclusion, si un bon accord se dégage pour un âge supra Famennien du volcanisme, cette datation appelle plusieurs remarques :

1. les datations radiométriques et paléontologiques laissent subsister un intervalle de temps suffisamment large (Tournaisien pro parte,  $\pm 10$  millions d'années) pour autoriser la superposition de plusieurs épisodes volcaniques.
2. Aucune datation absolue n'a été effectuée sur les roches intrusives intercalées à différents niveaux de la série stratigraphique (sills ou dykes de dolérites intrusif dans le niveau schisto-quartzitique inférieur à Pomaraô (VAN DEN BOOGAARD, *op. cit.*), sill doléritique au contact des tufs acides dans le secteur de Calanás, El Buitron (AYE, 1975), intrusions de diorites albitiques, dolérites et microgranites dans le faciès Gafo à Paymogo (SALPETEUR, *op. cit.*).
3. Les corrélations stratigraphiques entre les zones médianes et septentrionales de la province deviennent

très hasardeuses, car, d'une part, aucun fossile n'a été découvert dans les séries sédimentaires au voisinage direct de la ride volcanique et, d'autre part, la lithologie des faciès évolue (passage des grauwalkes aux quartzwackes et quartzites du faciès Gafo - prédominance des termes acides et intermédiaires, absence de termes basiques francs dans la partie septentrionale).

Enfin, la complexité structurale (superposition de trois phases tectoniques, présence de séries renversées) et l'absence de niveaux repères rendent très aléatoire toute tentative de corrélation stratigraphique entre la structure de Puebla de Guzman-Pomaraô au sud et celle de Paymogo au nord.

La cartographie de ce secteur (SALPETEUR, *op. cit.*) montre que le faciès Gafo, décrit au nord de Mertola par PFEFFERKORN (*op. cit.*) se prolonge au-delà de la frontière portugaise pour encadrer la ride volcanique du Paymogo en Espagne. Ce faciès, attribué au Précambrien par HOLLINGER (1959) a été assimilé au Culm par PFEFFERKORN (1968, 1972).

En Espagne, la même analogie a pu être établie :

1. Le contact chevauchant qui fait reposer le faciès Gafo sur la ride volcanique anticlinoriale de Paymogo est discontinu et, en deux endroits, la coupe observée montre clairement le passage vertical continu des faciès supra volcaniques (Polvo hematites, tuffites) aux grès lenticulaires et quartzwackes du faciès Gafo.
2. Ce faciès contient des débris volcaniques (tuf vitroclastique, lave métarhyolitique) analogues à ceux de la ride volcanique voisine.

Les quartzwackes du faciès Gafo sont recoupées par de nombreuses intrusions en forme de stocks ou de dykes (dolérites, diorite et microgranites albitiques) qui développent à leur contact un métamorphisme thermique caractérisé par la présence de stilpnomélanes, muscovite et une silification de leur encaissant. La texture de ces roches les apparente au cortège subvolcanique et ceci nous permet de conclure à un âge synchrone de l'encaissement grauwakeux (aux limites de la méthode de datation). Ces roches intrusives, ainsi que leurs cornéennes ont été affectées par deux phases de déformations souples et une phase de déformation cassante qui termine l'évolution structurale de ce secteur. La première schistosité est une schistosité de flux et s'accompagne de recristallisation de séricite-chlorite. La seconde schistosité est une schistosité de strain slip et localement de flux.

La conservation de la paragenèse à pumpellyite-

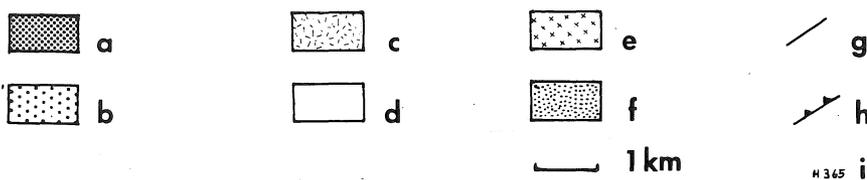
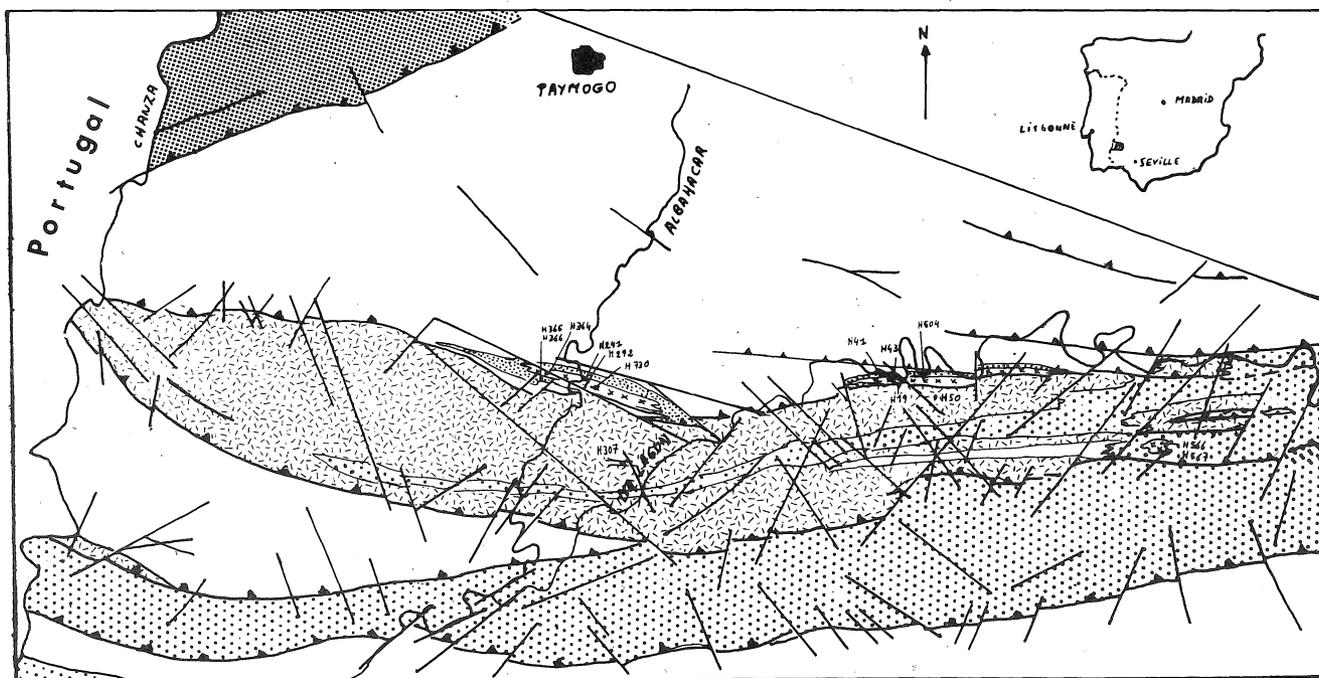


Figure 1.- Esquisse géologique du secteur de Paymogo  
 a. Faciès Pulo do Pobo, b. Schistes et quartzites lenticulaires, c. Série volcano-sédimentaire, d. Faciès Gafó,  
 e. Intrusions diorite albitique, f. Cornéennes, g. Failles, h. Plan chevauchant, i. Echantillon daté.

prehnite-quartz au sein de la ride volcanique et son remplacement progressif par l'association actinote-chlorite-épidote indique le passage du "very low grade metamorphism" au "greenschist facies" pour ces formations (WINKLER, 1974).

Face aux problèmes chronologiques ainsi posés dans le secteur étudié, il paraissait intéressant de recourir aux déterminations d'âge radiométriques. L'âge minimum du faciès Gafo, étant donné l'hétérogénéité lithologique de ce faciès, nous a paru pouvoir être atteint indirectement par la datation des intrusions qu'il recèle et celui du métamorphisme de contact qu'y développent les granodiorites, facteur d'homogénéisation sous l'aspect isotopique. Celui de la pile volcanique relevait de la détermination de l'âge des faciès types.

### ANALYSES RADIOMETRIQUES

#### CHOIX DES ECHANTILLONS :

Les faibles teneurs en Sr de ces roches nous ont contraints à utiliser la méthode K/Ar, en roche totale pour cette datation. Les échantillons datés (fig. 1) concernent trois stocks de roches intrusives (diorite albitique), leurs cornéennes, un filon de microgranite albitique sécant sur un des stocks dioritiques et deux échantillons de roches volcaniques appartenant à la ride volcanique sous-jacente.

Les deux premiers stocks intrusifs (Ech. H43, H504, H241, H292, H364) sont sécants dans le faciès Gafo qu'ils métamorphosent à leur contact (cornéennes H12, H41, H365, H366). Ils forment des corps lenticulaires longs de 2,5 à 3 km et larges de 150 à 200 mètres et sont recoupés par des failles obliques à rejets horizontaux variant de 10 à 250 mètres (cas de la Romanera, voir fig. 1).

Le troisième stock forme un apex ovale sécant sur le faciès schisto-quartzitique qui affleure à l'est de la ride volcanique.

Le filon de microgranite albitique (H730) recoupe l'intrusion de diorite de la Romanera, et sa texture sphérolitique indique un caractère subvolcanique. Les deux échantillons de roches volcaniques concernent l'un (H50), une coulée de lave métadacitique de la base de l'appareil volcanique, l'autre (H307), une cheminée métarhyolitique sécante sur la même coulée.

Ces deux échantillons ne peuvent représenter à eux seuls l'énorme diversité des faciès volcano-sédimentaires rencontrés et la datation de la pile volcanique nécessiterait un échantillonnage plus exhaustif.

#### RESULTATS ET INTERPRETATION :

Si l'on regroupe les échantillons d'âge équivalent, ceux-ci déterminent deux isochrones : (fig. 2 et tab. 2):

- la première définissant un âge de  $324 \pm 6$  MA pour toutes les cornéennes, deux faciès de diorite albitique, le microgranite H730.

L'exclusion de cette isochrone des deux cornéennes H19 et H366 altère légèrement cette valeur à  $330 \pm 3$  MA.

- La seconde définit un âge de  $280 \pm 2$  MA pour la plupart des diorites albitiques analysées et les roches volcaniques.

La distribution géographique des diorites albitiques anciennes n'est pas quelconque. Les deux échantillons H43 et H241 ont été prélevés au coeur des intrusions alors que les autres échantillons constituent soit des faciès de bordure de ces mêmes intrusions, soit sont situés à proximité d'accidents tectoniques majeurs, recoupant ces intrusions. D'autre part, l'étude pétrographique (résumé dans le tab. 1) fait apparaître que seuls ces deux échantillons de diorites "anciennes" ont gardé une fraction importante de leurs micas (Muscovite), alors que les diorites jeunes en sont dépourvues.

L'âge minimal du métamorphisme de contact ayant donné naissance aux cornéennes est donc compris dans l'intervalle 325-333 MA, son intensité marquée par la recristallisation des biotites étant suffisante pour libérer l'Argon radiogénique antérieurement formé. Comme ce métamorphisme est lié à la mise en place des granodiorites, il faut donc admettre un âge semblable pour cette mise en place qu'il est tentant de rattacher à la phase sudète.

Cet âge ancien est conservé dans les échantillons du coeur des intrusions et dans les cornéennes car ces roches ont été peu affectées par des déformations tectoniques et le métamorphisme dynamique qui a induit la recristallisation de séricite chlorite lors des déformations ultérieures (passage au greenschist facies au nord de la ride volcanique).

L'âge le plus jeune de  $280 \pm 3$  MA paraît être en relation avec ce métamorphisme dynamique. Il correspondrait au rajeunissement de zones davantage tectonisées à la périphérie des intrusions dioritiques (où les deux schistosités S1 et S2 sont les mieux marquées) et au sein de la ride volcanique. L'échantillon de lave métadacitique (H50) montre en effet, outre une certaine adularisation, deux directions de fractures qui s'accompagnent localement de séricite, chlorite (20 %) orientées et correspondent aux deux schistosités. L'échantillon de

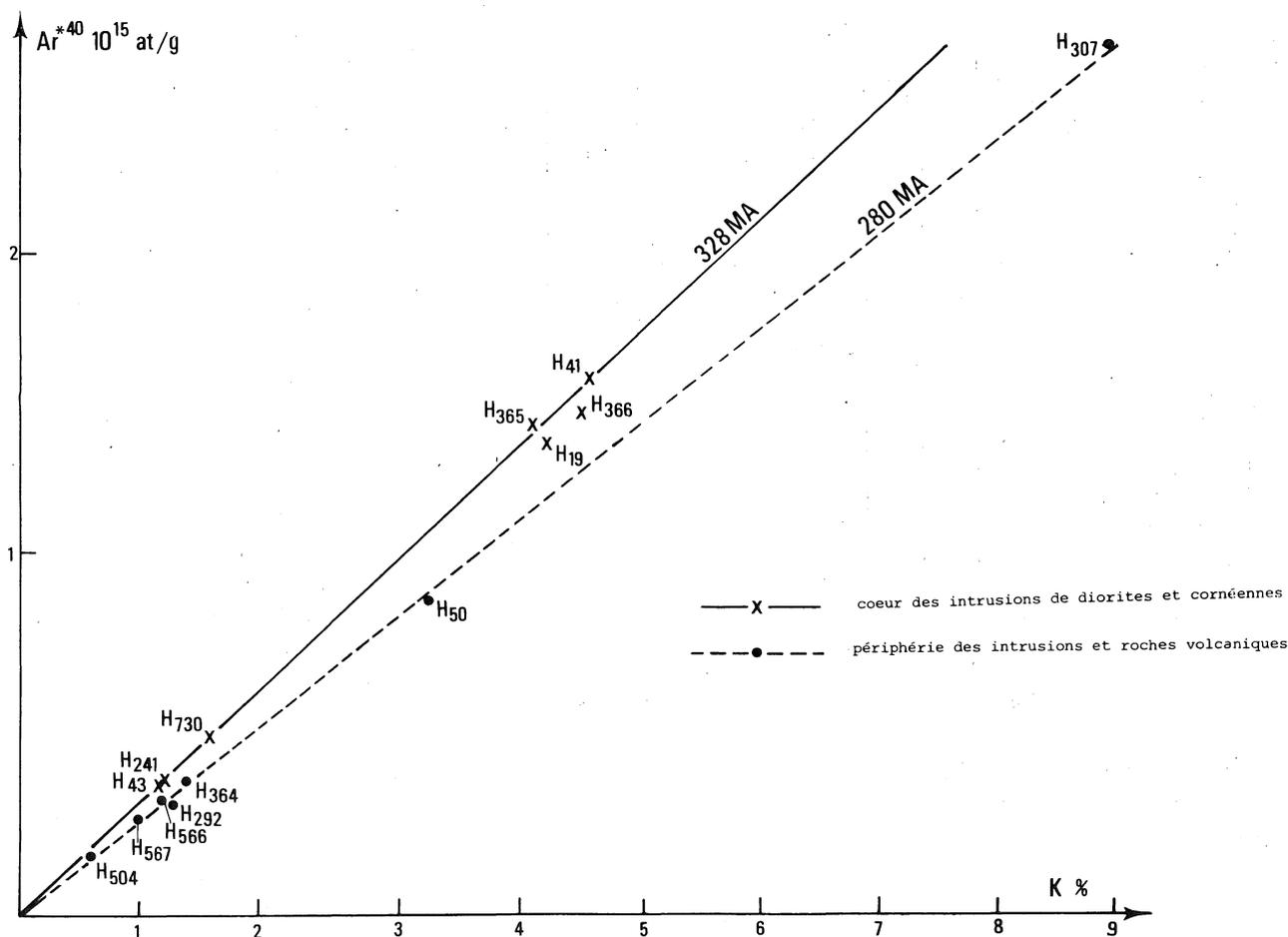


Figure 2.- Isochrones  $Ar^{*40}$  f.  $K$  0/o.

métarhyolite H307 présente lui, une adularisation importante et sa localisation au sein d'un dyke (zone de faiblesse, ancienne faille d'extension) peut expliquer son rajeunissement par rejeu des parois de ces dykes lors des déformations ultérieures. La phase triclinique a été évaluée par résolution des raies 131 et  $\bar{1}31$  du microcline (analyse effectuée au C.R.P.G. par F. LHOTE). Il apparaît que 45 0/o du feldspath potassique présentent un degré de triclinité de 0,45 ce qui constituerait dans les conditions du "greenschist facies" observées ici, un appui à l'hypothèse d'un rajeunissement par perte d'argon si l'on se réfère à HALLIDAY & MITCHELL (1976).

Pour obtenir une datation plus précise de la mise en place originelle des roches volcaniques, il faudra se

baser sur un échantillonnage plus abondant et limité aux "noyaux" non déformés, exempts de recristallisations ultérieures.

## CONCLUSIONS

### AGE DES INTRUSIONS - AGE DU GAFO

L'observation géologique permettait déjà de conclure à un âge voisin pour les intrusions et les roches volcaniques sous-jacentes. En effet, l'épaisseur du recouvrement sédimentaire (faciès Gafo) entre le toit de l'appareil volcanique (marqué par les schistes violacés du Polvo Hematites) et les premières cornéennes est réduite de 50 à 100 mètres environ. D'autre part, les tex-

Type de roche	Quartz	Albite	Feldsp. K.	Muscovite	Chlorite	Stilpnomé- lane	Pyroxène (Augite)	Amphibole (Hornblende)	Epidote	Préhnite	Carbonate	Sulfures	Sphène	Apatite	Leucoxène	Texture
<u>Cornéennes</u>																
H19	20%	6,5%		50%	15%	5%						x				granoblastique
H41	21%	6 %		49%	16%	3%						x				"
H365	27%	3 %		51%	14%	4%						x				"
H366	19%	2 %		53%	16%	5%						x				"
<u>Intrusions de diorite albitique quartzique</u>																
<u>Romanera :</u>																
H43	39%	15 %		15%	23%						4%	x	x		x	grenue
H241	33%	33 %		6%	28%						2%		x			microgrenue - graphique
H292	34%	39 %	5%	5%	12%				2%		1%		x			grenue - graphique
H364	23%	17 %	5%	x	25%	2%	2%	18%	2%	2%						microgrenue - graphique
H504	28%	37 %		x	25%		3%				5%					grenue et microgrenue
<u>El Toro :</u>																
H566	20%	39 %	4%	3%	12%		4%	15%	x	x	x	x				grenue - graphique
H567	19%	41 %	6%	5%	13%		3%	14%	x	x	x	x				
<u>Filon microgranite albitique</u>																
H730	43%	33 %	10%	10%	3%								1%			sphérolitique
<u>Roches métavolcaniques</u>																
Métarhyolite	H307	42%	5 %	48%	2%							x				microgrenue - sphérolitique
Métarhyodacite	H50	31%	39 %	5%	4%	20%							x	x		porphyrique-amygdalaire

x Minéraux en traces inférieures à 1 %.

Tableau 1.- Normes calculées d'après les minéraux observés dans les roches analysées.

tures de certaines intrusions (à caractère subvolcanique) soulignent la faible épaisseur du recouvrement lors de leur mise en place.

La comparaison des analyses chimiques des roches intrusives avec celle des roches volcaniques sous-jacentes permet de montrer que les diorites albitiques d'une part, les microgranites albitiques d'autre part, sont les équivalents intrusifs des métadacites et des métarhyolites sous-jacentes.

Leur âge voisin permet de les considérer comme manifestations tardives d'un même magma lors d'un même épisode volcano-sédimentaire. L'âge ancien obtenu ( $324 \pm 6$  MA) correspond au Viséen moyen supérieur et il faut donc admettre un âge voisin pour le faciès Gafu du Nord de la ride volcanique. Ce faciès est bien l'équivalent du faciès Culm connu au sud et daté par fossiles.

Cet âge ancien tombe dans l'intervalle  $385 \pm 40$  MA, âge isochrone Rb/Sr obtenu pour les roches volcaniques au Portugal (HAMET *et al.*, *op. cit.*). Toutefois, la marge d'erreur très large (40 MA) de cette datation ne permet pas de conclure de manière absolue sur le synchronisme des volcanites de part et d'autre de la frontière Hispano-Portugaise.

L'âge plus récent ( $280 \pm 3$  MA) correspond à la recristallisation des phases micacées lors des phases tectoniques que l'on peut rattacher à la phase tardi asturienne.

Cette phase a été reconnue par plusieurs auteurs dans la Province Sud-Ibérique (STRAUSS, 1970 - SCHERMERHORN, 1971).

Nature	N°	K %	A <sup>40*</sup> en 10 <sup>15</sup> at/g	K <sup>40</sup> /A <sup>36</sup>	A <sup>40</sup> /A <sup>36</sup>	"Ages" convent. MA	% Ar atmsp.
Cornéennes	H 19	4.43	1.5900	223172	4753	315 ± 1	6.02
	H 41	4.76	1.8081	55784	1474	332 ± 3	20.01
	H 365	4.30	1.6399	175957	4030	333 ± 1	7.32
	H 366	4.72	1.7025	24143	780	316 ± 2	37.82
Intrusions (diorite albitique quartzique)	H 43	1.16	0.4461	55949	1493	335 ± 5	19.75
	H 241	1.18	0.4558	51228	1396	337 ± 2	21.13
	H 292	1.27	0.3776	40347	963	264 ± 3	30.63
	H 364	1.41	0.4393	69257	1496	276 ± 6	19.72
	H 504	0.59	0.1913	30547	846	287 ± 2	34.87
diorite albitique	H 566	1.20	0.3874	50436	1201	285 ± 1	24.56
	H 567	1.00	0.3153	18426	618	279 ± 2	47.73
Filon de microgran. albitique	H 730	1.59	0.5994	30196	929	329 ± 1	31.75
Roches volcaniques	H 50	3.41	1.0550	175032	3309	274 ± 1	8.92
	H 307	9.10	2.9223	191552	3718	284 ± 3	7.93

Tableau 2.- Résultats analytiques, âges apparents K-Ar.

Nature	N°	"Ages" convent. MA	"Ages" isochrones							
			A <sup>40</sup> /A <sup>36</sup> f K <sup>40</sup> /A <sup>36</sup>	A <sup>40</sup> /K <sup>40</sup>	A <sup>40</sup> /A <sup>36</sup> f K <sup>40</sup> /A <sup>36</sup>	A <sup>40</sup> /K <sup>40</sup>				
			R <sub>I</sub> = 295	Ri non imposé	R <sub>I</sub> = 0	R <sub>I</sub> non imposé				
Cornéennes	H 19	315 ± 1	332 ± 0.5 ρ = 0.99999	323 ± 2.5 ρ = 0.9995	332 ± 1 ρ = 0.99997 R <sub>I</sub> = 298 ± 7	318 ± 5 ρ = 0.9990 R <sub>I</sub> = 337.5 ± 41	328 ± 0.5 ρ = 0.99999	324 ± 2 ρ = 0.9996	327 ± 1 ρ = 0.99997	316 ± 7 ρ = 0.9982
	H 366	316 ± 2								
	H 41	332 ± 3								
	H 365	333 ± 1								
Filon de microgran. albitique	H 730	329 ± 1								
Intrusions (diorite albitique quartzique)	H 43	335 ± 5	332 ± 0.5 ρ = 0.99999	323 ± 2.5 ρ = 0.9995	332 ± 1 ρ = 0.99997 R <sub>I</sub> = 298 ± 7	318 ± 5 ρ = 0.9990 R <sub>I</sub> = 337.5 ± 41	328 ± 0.5 ρ = 0.99999	324 ± 2 ρ = 0.9996	327 ± 1 ρ = 0.99997	316 ± 7 ρ = 0.9982
	H 241	337 ± 2								
	H 292	264 ± 3								
diorite albitique	H 364	276 ± 6	279 ± 1 ρ = 0.9998	279 ± 3 ρ = 0.9995 R <sub>I</sub> = 287 ± 23	279 ± 1 ρ = 0.9998	279 ± 3 ρ = 0.9995 R <sub>I</sub> = 287 ± 23	279 ± 1 ρ = 0.9999	279 ± 1 ρ = 0.9999	279 ± 1 ρ = 0.9999	281 ± 2 ρ = 0.99985
	H 504	287 ± 2								
	H 566	285 ± 1								
Roches volcaniques	H 567	279 ± 2								
	H 50	274 ± 1								
	H 307	284 ± 3								

Tableau 3.- "Age" isochrones, Ar<sup>40</sup>/Ar<sup>36</sup> f. K<sup>40</sup>/Ar<sup>36</sup> et Ar<sup>\*40</sup> f. K<sup>40</sup>.

## BIBLIOGRAPHIE

- AYE, F., 1975. Mise en évidence d'un sill basique de grande dimension dans la ceinture pyriteuse Sud-Ibérique (Calanas-El-Buitron - Huelva, Espagne). C.R.Ac. Sc., 281, série D : 965-968.
- DELEPINE, G., 1957. Observations sur les goniatites du Carbonifère portugais. Com. Serv. Géol. Port. Lisboa, 2(2) : 295-304.
- FRISCHMUTH, E., 1968. Sedimentation und Tektonik in der subvariszischen Vortiefe von Sud Portugal. Münstersche Forsch., Geol., Paläont., 4.
- HALLIDAY, A.N. & MITCHELL, J.G., 1976. Structural K-Ar and Ar<sup>40</sup>-Ar<sup>39</sup> age studies of adularia K-feldspars from the Lizard Complex, England, Earth Planet. Sci. Letters, 29 : 227-237.
- HAMET, J. & DELCEY, R., 1971. Age, synchronisme et affiliation des roches rhyolitiques de la province pyrito-cuprifère du Baixo-Alentejo (Portugal) : mesures isotopiques par la méthode Rb<sup>87</sup>/Sr<sup>87</sup>. C.R.Ac. Sc., Paris, 272, série D : 2143-2146.
- HOLLINGER, R., 1959. Beitrag zur Kenntnis der Geologie im Südwesten der Provinz Huelva. Thèse Univ. Münster.
- LECOLLE, 1971. Séquence lithostratigraphique et phase de déformations dans une partie de la Province pyritocuprifère d'Huelva (Espagne). Conséquences à l'échelle régionale. C.R.Ac. Sc. 272, série D : 1956.
- PFEFFERKORN, H.W., 1968. Geologie des Gebietes zwischen Serpa und Mertola (Baixo Alentejo-Portugal). Münster Forsch. Paläont., 9 : 1435.
- PFEFFERKORN, H.W., 1972. Regionale Geologie in einem Teil des Pyritgürtels von Süd Portugal und Süd Spanien. Münster Forsch., Geol. Paläont., 24 : 109-125.
- PRIEM, H.N.A., 1968. Beknopt Verslag. "Z.W.O. Laboratorium voor Isotopen Geologie. Unpublished report, 45 pp.
- SALPETEUR, I., 1976. Etude structurale et pétrographie de la zone de Paymogo (Nord de la Province d'Huelva). Métallogenèse des amas sulfurés associés. Thèse 234 pp., Nancy.
- SCHERMERHORN, L.J.G., 1971. An outline stratigraphy of the Iberian pyrite belt. Bol. Geol. Minero, 82 : 239-268.
- STRAUSS, G.K., 1970. Sobre la Geologica de la Provincia pirifera del Suroeste de la Peninsula Iberica y de sus yacimientos, en special sobre lamina de pirita de Lousal (Portugal). Mem. Geol. Min. Espana, 77, 266 p.
- VAN DEN BOOGAARD, 1967. Geology of the Pomarao Region (Southern Portugal). Thèse Univ. Amsterdam, 113 pp.
- VAN DEN BOOGAARD & SCHERMERHORN, L.J.G., 1975. Conodont faunas from Portugal and southwestern Spain. Scripta Geol., 28 : 1-18.
- VAN DEN BOOGAARD & SCHERMERHORN, L.J.G., 1975. Conodont faunas from Portugal and Southwestern Spain. Scripta Geol., 28 : 37-43.
- WINKLER, H.G.K., 1974. Petrogenesis of Metamorphic Rocks. Springer Verlag, 1, 230 pp.