

# Las doleritas neoproterozoicas de las ventanas de Agadir Melloul y del Adrar Izazen (Anti-Atlas Central, Marruecos). Restos de una distension pre-panafricana.

A. Hafid(\*), A. Saquaque(\*\*), M. Navidad(\*\*\*) , A. Saidi(\*), J. P. Sagon(\*\*\*\*) y A. El Boukhari(\*\*\*\*\*)

(\*) Dépt. de Géologie, Faculté des Sciences et Techniques, B. P. 618, Marrakech, Maroc.

(\*\*) REMINEX (Groupe ONA), 26 avenue Allal El Fassi, Daoudiate, Marrakech, Maroc.

(\*\*\*) Dept de Petrología y Geoquímica, Facultad de Ciencias Geológicas, Univ. Complutense, 28040 Madrid.

(\*\*\*\*) Dépt. de Pétrologie, 3<sup>e</sup> Et. T.26, 4, place Jussieu 75252 Paris Cedex 05, France.

(\*\*\*\*\*) Dépt. de Géologie, Faculté des Sciences Semlalia B. P. S 15, Marrakech, Maroc.

## ABSTRACT

Two swarms of diabasic dykes with different directions NE-SW and NW-SE cut the socle of Agadir Melloul and the Adrar Izazen neoproterozoic windows. These rocks show a hydrothermal transformation simultaneously with Panafrican deformation but the primary mineralogical composition preserved are formed by: plagioclase, augite, ilmenite and micropegmatite textures with hornblende and biotite occasionally. Their chemical composition are tholeiitic and transitional basalts in the two directions respectively mentioned. This magmatism has an anorogenic continental character and it is related with the extensive pre-panafrican phase that involved to northern edge of western African craton.

**Key words:** Maroc, Anti-Atlas, Agadir-Melloul and Adrar Izazen windows, Neoproterozoic, continental tholeiites, Pre-panafrican extension.

Geogaceta, 26 (1999), 35-38

ISSN: 0213683X

## Introducción

Las ventanas de Agadir Melloul y del Adrar Izazen, se encuentran situadas algunos kilómetros al sud-este de la localidad de Taliwine (Fig.1). Su núcleo paleoproterozoico, esencialmente formado por un granito mesocrato porfídico, pequeños lentejones de un granito leucocrático y micaesquistos (Choubert, 1963; Horrenberger y Salem, 1974), está recubierto por cuarcitas epicontinentales de edad neoproterozoica (Precámbrico II inferior). Núcleo cristalino y cuarcitas están cortadas por diques de rocas básicas que son anteriores a la deformación Panafricana. Todo este conjunto está recubierto en discordancia por la formación conglomerática del Precámbrico II Superior, por ignimbritas del Precámbrico III (Neoproterozoico terminal) y por calizas dolomíticas Aududunienses (Infra-cámbrico).

Las rocas básicas forman una red de filones compleja, bien desarrollada en el núcleo de las dos ventanas y en las cuarcitas de Jbel Iguigul en la parte norte de la ventana de Agadir Melloul. Representan

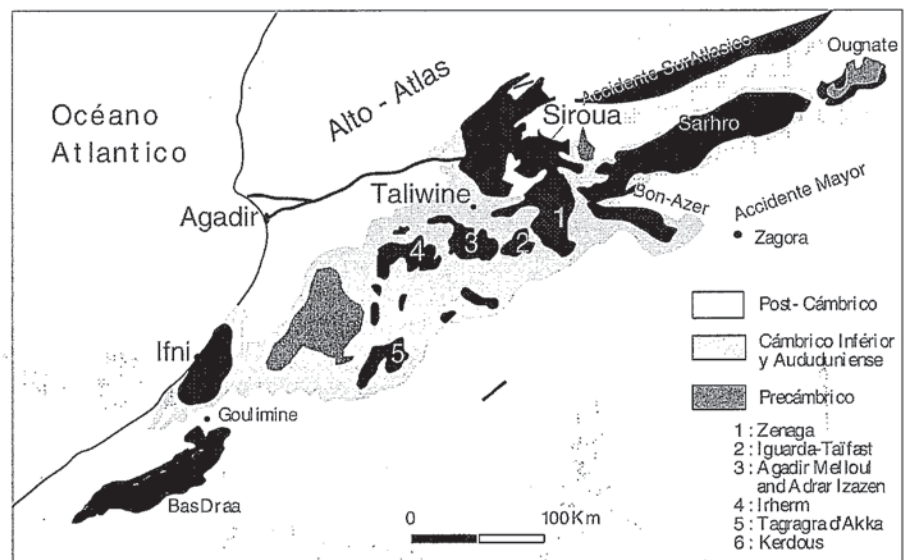


Figura 1: Situación de las ventanas precámbricas del Anti-Atlas (a partir de Choubert, 1963).

Fig.1: Geographical setting of Anti-Atlas Precambrian Windows (from Choubert, 1963)

la primera manifestación magmática posterior a los granitos leucocráticos de tipo Taznakht datados en 1600 Ma (Charlot, 1982) que marcan el final de la orogénesis Eburniense en el Anti-Atlas. Estas ro-

cas básicas han sido brevemente descritas por Choubert (1963), Horrenberger y Salem (1974). En este trabajo se aportan datos geoquímicos y se encuadra este magmatismo en un marco geodinámico.

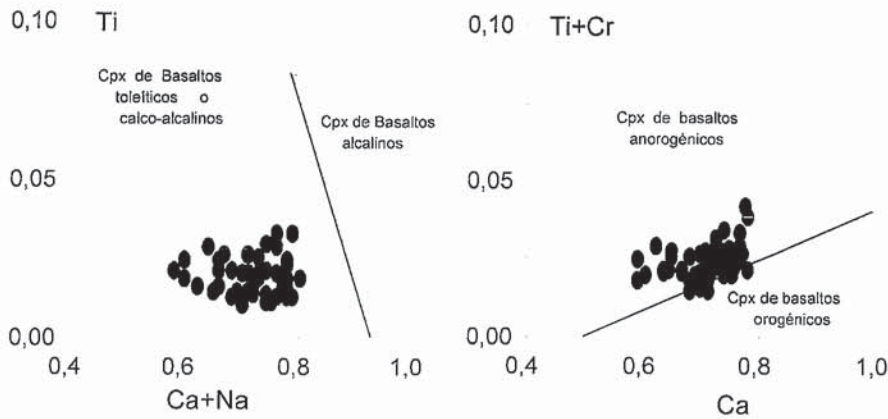


Figura 2. Composición de los piroxenos sobre los diagramas Ti / Ca+Na y Ti+Cr / Ca (Lettierier et al. 1982).

Fig.2: Projection of the pyroxenes composition in Ti / Ca+Na and Ti+Cr / Ca diagrams. (Lettierier et al. 1982).

**Petrología**

En el Agadir Melloul y Adrar Izazen los filones de rocas básicas presentan un espesor variable entre una decena de centíme-

tros hasta treinta metros pudiendo alcanzar varios kilómetros de longitud. Se disponen en dos direcciones esenciales, una primera NW-SE y otra más reciente NE-SW que corta a la anterior.

	Grupo II								Grupo I	
	AM1	AM2C	AM4	AM4b	AM27	AM28	AM29c	AM34	AM11	AM30
SiO <sub>2</sub>	50,63	48,22	48,23	49,61	52,75	51,96	50,92	48,72	48,27	48,54
TiO <sub>2</sub>	1,53	1,20	1,32	1,37	1,57	1,06	0,8	1,64	3,28	2,93
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13,9	15,56	14,74	14,59	13,58	14,6	15,4	14,06	13,35	13,97
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12,85	11,63	12,09	12,33	13,76	10,43	9,24	12,64	16,69	15,01
MnO	0,201	0,196	0,227	0,177	0,219	0,196	0,148	0,305	0,211	0,227
MgO	6,21	7,50	7,10	6,77	4,26	7,13	7,10	6,96	5,21	4,67
CaO	10,56	10,83	10,55	10,24	7,74	8,27	10,63	9,82	5,87	7,74
Na <sub>2</sub> O	1,83	1,72	1,88	1,83	2,98	2,28	2,16	2,41	2,93	2,62
K <sub>2</sub> O	0,67	0,62	0,65	0,36	1,06	0,58	1,02	0,66	1,26	1,48
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,148	0,13	0,142	0,141	0,15	0,112	0,085	0,10	0,496	0,468
LOI	1,26	2,53	2,34	1,77	2,04	3,31	2,62	2,21	2,75	3,08
Total	99,79	100,1	99,27	99,19	100,1	99,93	100,1	99,53	100,3	100,7
Rb	30,13	33,84	28,86	24,54	52,04	25,11	54,33	40,83	39,00	72,04
Sr	257,02	226,08	242,54	188,25	281,12	220,06	214,52	245,43	600,44	400,55
Ba	133,30	159,13	181,93	105,48	342,51	149,61	196,18	324,20	502,01	478,26
V	320,95	276,60	281,49	303,43	305,71	258,76	229,12	373,34	347,28	304,75
Cr	164,63	248,31	215,50	239,21	31,39	118,76	184,47	243,64	165,05	88,77
Co	44,81	48,25	48,80	50,16	35,28	41,56	38,97	47,02	48,24	47,72
Ni	86,70	111,44	117,26	104,62	25,33	54,68	71,31	111,56	72,60	56,90
Y	24,76	19,04	20,22	21,23	27,66	19,82	15,04	19,90	34,16	29,53
Nb	6,95	6,03	6,43	6,83	8,76	5,59	4,27	4,49	20,10	16,89
Ta	0,53	0,33	0,47	0,49	0,55	0,39	0,35	0,23	1,25	1,11
Zr	100,29	64,81	69,96	82,16	124,77	83,44	63,57	64,25	233,71	195,31
Hf	2,92	1,81	2,23	2,54	3,58	2,71	1,90	1,79	6,30	5,19
U	0,38	0,22	0,25	0,27	0,77	0,61	0,40	0,15	0,81	0,90
Th	1,50	0,70	0,86	0,88	2,40	2,13	1,34	0,64	4,26	3,88
Tot. REE	76,25	54,71	63,77	66,03	95,58	72,10	52,87	47,20	215,56	188,82
(La/Sm) <sub>N</sub>	1,51	1,38	1,51	1,53	1,98	1,86	1,83	1,14	2,53	2,44
(La/Yb) <sub>N</sub>	2,84	2,70	3,11	2,72	3,69	3,55	3,58	2,00	8,22	8,70

Tabla 1. Análisis químicos de los filones doleríticos de las ventanas de Agadir Melloul y del l'Adrar Izazen.

Table 1. Chemical composition of basic filons from the Agadir Melloul et de l'Adrar Izazen windows

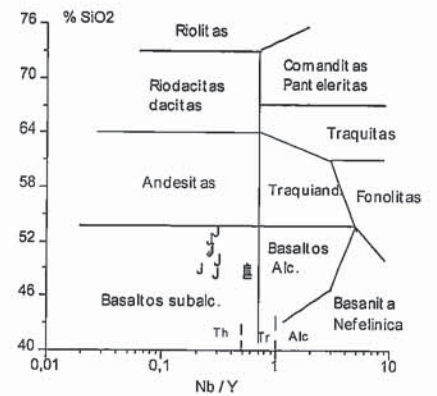


Fig 3: Clasificación de los dos tipos de doleritas en el diagrama SiO<sub>2</sub> - Nb/Y (Winchester & Floyd, 1976)

Fig 3. Classification of diabasic rocks in the SiO<sub>2</sub> - Nb/Y (Winchester & Floyd, 1976) diagram.

En los filones de mayor espesor se observa con frecuencia bordes enfriados con menor tamaño de grano. Son esencialmente doleritas que pasan a gabros doleríticos en el centro de los filones. Su textura varía entre sub-ofítica y ofítica. Estas rocas se encuentran afectadas por una transformación heterogénea de tipo hidrotermal, a veces bastante fuerte, en las zonas afectadas por las cizallas miloníticas panafricanas; fuera de estas zonas, las doleritas conservan generalmente su textura y mineralogía primaria que está formada por clinopiroxeno, plagioclasa, ilmenita con frecuentes micropegmatitas; la hornblenda verde y la biotita son ocasionales sobre todo esta última. La cristalización temprana de la plagioclasa y clinopiroxeno y tardía de la ilmenita reflejan el carácter toleítico de estas doleritas.

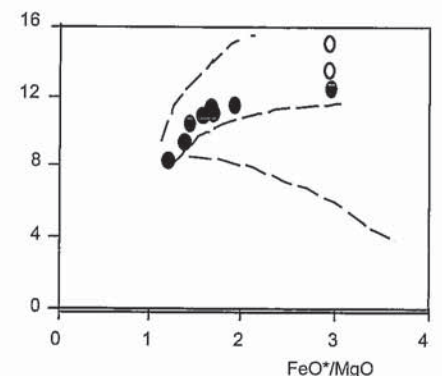


Figure 4. Diagrama FeO\* en función de la relación FeO\*/MgO de Miyashiro (1974). Grupo I círculos vacíos (filones con dirección NW-SE), Grupo II círculos negros (filones con dirección NE-SW)

Fig. 4: Projection of basic filons in the FeO and FeO/MgO Miyashiro, 1974 diagram. Group I empty circles (NW-SE direction), Group II full circles (NE-SW direction)

El piroxeno aparece en cristales subidiomorfos y xenomorfos y raramente como cristales poiquilíticos, con frecuencia está reemplazado por actinolita y clorita. Los piroxenos analizados en las muestras menos transformadas son augitas ( $Wo_{33-40}En_{36-50}Fs_{13-30}$ ) según la clasificación de Moritomo *et al.* (1988) y su proyección sobre los diagramas de Leterrier *et al.* (1982) (Fig. 2), muestra el carácter toleítico anorogénico de estas doleritas.

La plagioclasa se presenta en placas o a veces incluida parcial o totalmente en el clinopiroxeno. En las rocas menos transformadas presenta una composición de labradorita ( $An_{55}$  a  $An_{70}$ ).

La ilmenita es de cristalización tardía y ocupa los espacios intergranulares. En las rocas alteradas está parcialmente transformada a esfena.

Los minerales de cristalización tardía se encuentran principalmente en las rocas con textura más gruesa del núcleo de los filones, son cuarzo y feldespato potásico micropegmatíticos, apatito, anfíbol y más raramente biotita. El anfíbol tiene una composición de ferro-edenita y ferrohornblenda según Leake, 1997, aparece íntimamente asociado a las micropegmatitas y a veces en el borde de los piroxenos.

Los minerales secundarios son abundantes en las rocas más transformadas; son característicos de la facies de los esquistos verdes y la paragénesis está formada por: albita, clorita, actinolita, epidota, esfena (leucóxeno), calcita y cuarzo.

**Características geoquímicas y contexto geodinámico**

Diez análisis químicos (elementos mayores, trazas y tierras raras), procedentes de muestras con mineralogía primaria bien conservada, han sido realizados en el Laboratorio de Petrología y Mineralogía de la Universidad de Granada (Tab. 1). Los elementos mayores se han determinado por FRX y los elementos trazas y tierras raras por ICP-MS.

Estas doleritas presentan una composición basáltica:  $SiO_2$  entre 48% y 52%. Los valores del parámetro  $Mg'$  ( $Mg' = 100 * Mg / (Mg + Fe^{+2})$ ) comprendidos entre 42% y 64% indican que se trata de magmas ya algo fraccionados y no de un magma primario.

Existen diferencias geoquímicas entre las dos redes de diques. Los diques con dirección NW-SE (Grupo I), representados solamente por dos muestras (AM-11 de Agadir Melloul y AM-30 de Adrar Izazen) presentan contenidos más elevados de elementos incompatibles y de

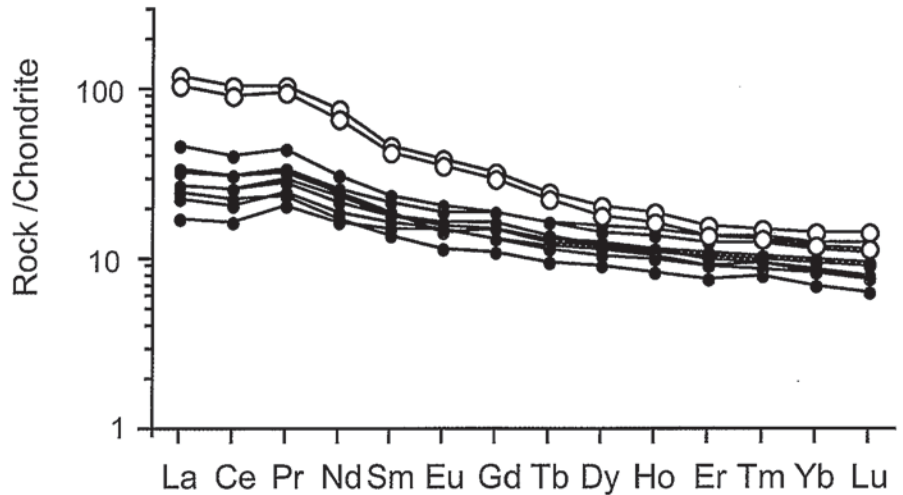


Figure 5. Espectros de tierras raras normalizados al condrito. Valores según Sun, (1980). (Leyenda como en Fig 3)

Fig 5. Rare earth patterns for basic filons. Chondrite normalisation from Sun, 1980. Symbols as the Fig.3

tierras raras (Zr, Hf, Nb, Y, Th, Ta,  $TiO_2$ ,  $Fe_2O_3$  y  $P_2O_5$ ), que los del segundo haz de diques, orientados en dirección NE-SW (Grupo II) y al que corresponden la mayoría de las muestras analizadas (Tabla 1, Fig 7). Esta distinción es mucho más evidente en los espectros de las tierras raras (Fig.5), al igual que las relaciones  $(La/Yb)_N$  y  $(La/Sm)_N$  que son relativamente más elevadas en el grupo I ( $(La/Yb)_N = 8-8,6$   $(La/Sm)_N = 2,44-2,53$ ) respecto al grupo II ( $(La/Yb)_N = 2-3,6$ ;  $(La/Sm)_N = 1,14-1,98$ ).

La naturaleza toleítica de las doleritas del grupo II es corroborada por el enriquecimiento en hierro a lo largo de la diferenciación (Fig.4) (Miyashiro & Shido, 1975), por los pequeños valores de la relación Nb/Y (0,23 a 0,32) (Winchester & Floyd, 1976; Pearce, 1982) (Fig.3) y por sus bajos contenidos en tierras raras. Las doleritas del grupo I presentan sin embargo caracteres de basaltos transicionales debido a su enriquecimiento en titanio, sus contenidos más elevados en elementos incompatibles de transición así como en tierras raras (Kampunzu y Mohr, 1991; Zhi *et al.*, 1990) (Fig.5); sus relaciones Nb/Y (0,57-0,59) son más elevadas. Por otra parte, los valores de la relación Ta/Yb (0,41 y 0,45) son generalmente inferiores a 0,3 en las toleítas y superiores a 0,8 en los basaltos alcalinos (Pearce, 1982).

El carácter anorogénico de estas doleritas, está apoyado por la composición de su piroxeno (Fig.2) y por la composición de roca total. Sobre el diagrama triangular Y/15-La/10-Nb/8 (Fig.6) (Cabanis et Lécolle, 1989), utilizado para la

discriminación de contextos geodinámicos, estas rocas se proyectan en el dominio de las toleítas continentales. Los diagramas de normalización de multielementos (Fig.7) confirman el carácter toleítico intracontinental de estas doleritas por su enriquecimiento en elementos incompatibles (Rb, Ba, K, Th), en tierras raras ligeras y por la anomalía negativa en Nb que estas presentan (Holm, 1985; Bertrand, 1991).

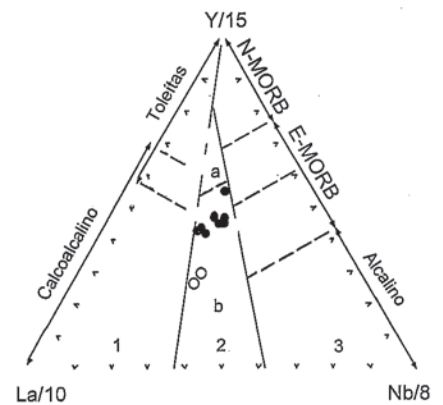


Figure 6. Proyección de la composición química de las doleritas en el diagrama triangular La/10-Y/15-Nb/8 (Cabanis et Lécolle., 1989). 1-Dominio orogénico, 2-Dominio continental (a-basalto de trasarco, b-toleítas continentales), 3-Dominio anorogénico. Leyenda como en la Fig 3

Fig 6. Situation of basic filons compositions in the La/10-Y/15-Nb/8 diagram (Cabanis et Lécolle., 1989). 1- orogenic setting, 2- continental setting (a-back-arc basalts, b-continental tholeiites), 3-anorogenic setting (symbols with Fig.3)

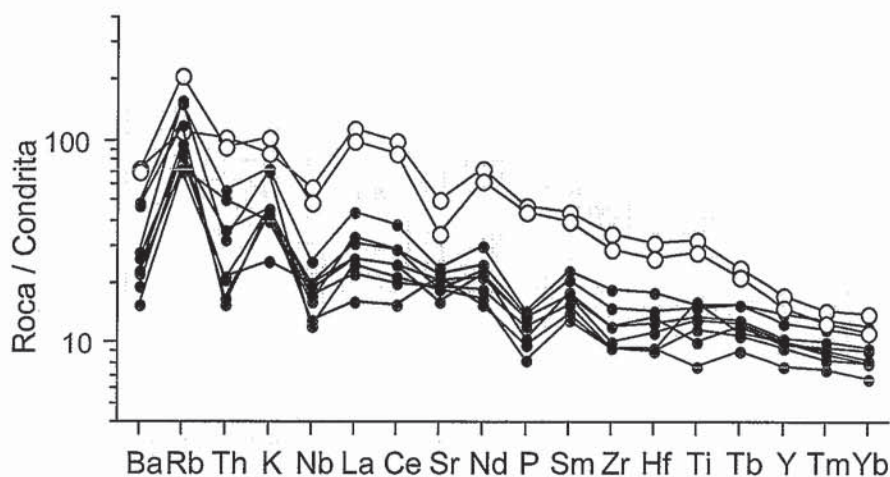


Figure 7. Espectros de multielementos de los filones doleríticos. Normalización al condrito de Thompson et al., (1983). Leyenda como en la Fig.3

Fig 7. Arachnids patterns for basic filons from Thompson et al., (1983) chondrite normalisation. Symbols as the Fig 3.

### Interpretación y Conclusiones

En las ventanas precámbricas de Agadir Melloul y del Adrar Izazen, el zócalo paleo-proterozoico (PE I) y su cobertera neoproterozoica (PE II inferior) están cortados por filones de doleritas anteriores a la deformación panafricana. Se inyectan siguiendo dos redes: la primera orientada NW-SE es cortada por una segunda de orientación NE-SW. La primera, relativamente enriquecida en elementos incompatibles, está formada por basaltos transicionales mientras que la segunda son basaltos toleíticos. Su composición mineralógica y química indica que proceden de magmas fraccionados de carácter anorogénico intracontinental.

La presencia de doleritas de carácter transicional, seguida de otras toleíticas en un contexto intracontinental, indica un período distensivo en la parte norte del cratón oeste africano durante el Neoproterozoico (anterior a la deformación Panafricana).

Estos filones básicos serían pues contemporáneos a los que cortan otras ventanas del Anti-Atlas occidental y central posteriormente o durante el depósito de la serie denominada «calcaires et quartzites» del Precámbrico II inferior (Hassen-

forder, 1987; Naidoo et al., 1991; Hafid, 1992; Ikenne et al., 1997; Hafid et al., 1998).

Al igual que sucede en otras ventanas del Anti-Atlas, estas doleritas de Agadir Melloul y del Adrar Izazen pueden ser consideradas contemporáneas del rifting pre-panafricano que culminó con un estado de oceanización en la región de Bou-Azzer (Leblanc et Lancelot, 1980, Saquaque, 1992) y en el Siroua (El Boukhari, 1991).

### Agradecimientos

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por un Proyecto AECI de colaboración España-Marruecos. Los autores agradecen a J.M. Fernández Soler de la Universidad de Granada la analítica de las rocas

### Bibliografía

Bertrand, H. 1991: *Magmatism in extensional structural settings*. The phanerozoic african Plate. (Kampunzu, A. B. and Lubala, R. T. ed.) - p 147-188.  
 Cabanis, B. et Lecolle, M. 1989: *C. R. Acad. Sci., Paris*, 309, série II, 2023-2029.  
 Charlot, R. 1982: *Notes Mem. Serv. géol.*

*Maroc*, 313, 106p  
 Choubert, G. 1963: *Notes Mem. Serv. géol. Maroc*, 162, 152p.  
 El Boukhari, A. 1991: *Thèse Doctorat* es-Sciences, Fac. Sci. Marrakech.  
 Hafid, A. 1992: *Thèse Doctorat*, Univ. Paris VI.  
 Hafid, A., Sagon, J. P. Fontelles, M. Moutte, J. 1998: *C. R. Acad. Sci., Paris*, 326, 21-26.  
 Hassenforder, B. 1987: *Thèse Doctorat*, 249p, Univ. Strasbourg.  
 Holm, P. E. 1985: *Chem. Geol.*, 51, 303-323.  
 Horrenberger, J. C et Salem, M. 1974: *C. R. Acad. Sci., Paris*, 278, 361-364.  
 Ikenne, M., Mortaji, A., Gasquet, D., et Stussi, J. M. 1997: *J. Afric. Earth Sci.*, 25, 209-223.  
 Kumpunzu, A. B. et Mohr, P. 1991: *Magmatism in extensional structural settings. The phanerozoic african Plate*. (Kampunzu, A. B. and Lubala, R. T. ed.), pp. 85-136.  
 Leake, B. E. 1997: *The Canadian Mineralogist*. Vol 35, pp. 219-246  
 Leblanc, M. et Lancelot, J. R. 1980: *Canad. J. Earth Sci.*, 17, 142-155.  
 Letterier, J., Maury, R. C., Thonon, P., Girard, D. et Marchal, M. 1982: *Earth Planet. Sci. Lett.*, 59, 139-154.  
 Miyashiro, A. et Shido, F. 1975: *Amer. J. Sci.*, 275, 265-277.  
 Moritomo, N., Fabries, J., Fergusson, A. K., Ginzburg, I. V., Ross, N., Selfert, F. A., Zusman, J., Aoki, K. et Gottardi, G. 1988: *Amer. Mineral.* 73, 1123-1133.  
 Naidoo, D. D., Bloomer, S. H., Saquaque, A. et Hefferan, K. 1991: *Prec. Res.* 53, 79-97.  
 Pearce, J. A. 1982: *Andesites* (edited by R.S. Thorpe), 525-548.  
 Saquaque A. 1992: *Thèse Doctorat* Sciences 342p. Fac. Sci. Marrakech.  
 Sun, S. S. 1980: *Phil. Trans. R. Soc. London*, 46, 179-192.  
 Thompson et al., 1983: *Continental basalts and xenoliths*. (Hawkesworth C. J. and Borry M. J. ed.), p 158-185  
 Winshester, J. A. et Floyd, P. A. 1976: *Earth Planet. Sci. Lett.*, 28, 459-469.  
 Zhi, X., Song, Y., Frey, F. A., Feng, J. et Zhai, M. 1990: *Chem. Geol.* 88, 1-33.  
 Leyenda de Figuras