

Contribución del estudio estructural del enjambre de diques básicos del Precámbrico del Anti-Atlas al conocimiento de su significación geotectónica en la orogenia panafricana

Contribution of the structural study of basic dyke swarms from the Precambrian of the Anti-Atlas to the understanding of their Panafrican geotectonic significance

J. Carreras ⁽¹⁾, E. Druguet ⁽¹⁾, A. Rahimi ⁽²⁾, L.M. Castaño ⁽¹⁾, A. Griera ⁽¹⁾ y E. Gómez-Rivas ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Departament de Geologia, Universitat Autònoma de Barcelona. 08193 Bellaterra (Barcelona)

⁽²⁾ Département de Géologie, Université Hassan II Mohammedia. Casablanca, Marruecos

ABSTRACT

The Precambrian inliers in the Anti-Atlas of Morocco are extensively intruded by swarms of dolerite dykes. On the basis of detail analysis of foliation patterns around dykes from Kerdous and Zenaga inliers it is inferred that dyke emplacement was syntectonic with the main Panafrican collisional event.

Key words: *Anti-Atlas, foliated dyke, deformation, Panafrican orogeny*

Geogaceta, 40 (2006), 139-142

ISSN: 0213683X

Introducción: marco geotectónico

El dominio antiatlásico está constituido esencialmente por tres unidades: (i) un zócalo de rocas cristalinas formado esencialmente por granitos y rocas metamórficas estructuradas durante el Eburniense (~2.000 m.a., Paleoproterozoico), tradicionalmente designado como PI (Choubert, 1963; Choubert y Faure-Muret, 1983), (ii) varias secuencias sedimentarias y volcánicas de edad proterozoica superior (neoproterozoica inferior) afectadas por las deformaciones panafricanas y granitoides intrusivos de la misma edad (PII), y (iii) una cobertura de edad proterozoica (neoproterozoica) superior (PIII) - paleozoica inferior discordante sobre las anteriores, generalmente en disposición horizontal, aunque localmente afectada por pliegues de edad Hercínica.

El levantamiento de la región durante la deformación Alpina originó la configuración actual donde el zócalo eburniense PI aflora en ventanas erosivas denominadas *boutonières* (Fig. 1a).

Dichas *boutonières* se encuentran rodeadas, bien sea por relieves abruptos de las secuencias plegadas del PII o bien por relieves tabulares del PIII-Paleozoico cuando estas secuencias son las que directamente se sitúan sobre el PI.

El PI se halla extensamente intruído por un enjambre de diques básicos (doleritas) con características petrológicas

y estructurales que se repiten en las diferentes *boutonières* (Hafid, 1999). Estos diques quedan restringidos casi exclusivamente al zócalo, aunque se ha documentado la presencia de sills geoquímicamente similares en los materiales del PII (Hassenforder, 1987).

El dominio antiatlásico se sitúa a caballo entre el Cratón Africano Occidental

(West African Craton, WAC) y el cinturón Panafricano (Fig. 1b). Está ampliamente aceptado que las rocas ofiolíticas de la región de Bou-Azzer representan la sutura que marca el límite entre el WAC, situado al Sur, y el arco magmático panafricano de Saghro (Leblanc, 1975; Saquaque *et al.*, 1989; Thomas *et al.*, 2002; Gasquet *et al.*, 2005).

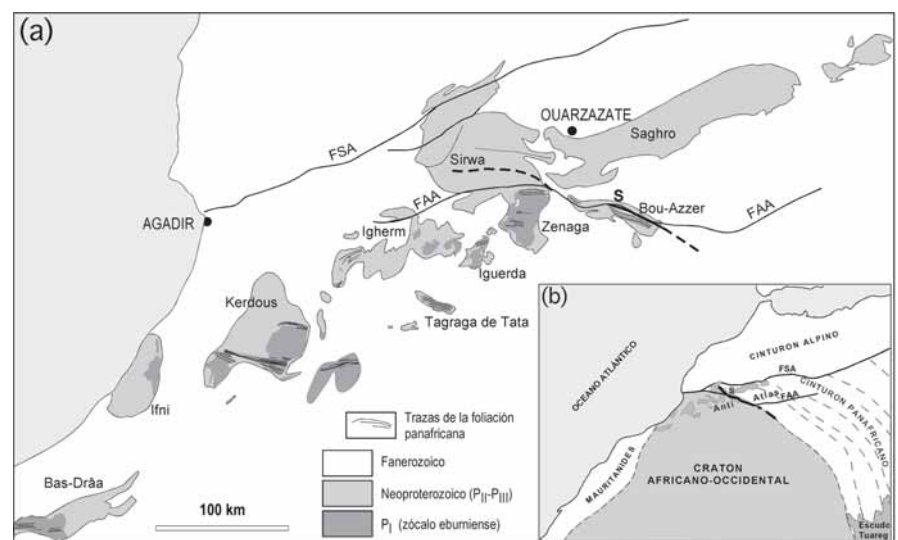


Fig. 1.- (a) Mapa geológico simplificado del dominio del Anti-Atlas que muestra la localización de las principales *boutonières* (basado en Choubert, 1963). Se indican las trazas de foliación panafricana. FSA: Falla sur-atlásica, FAA: falla anti-atlásica, S: sutura. (b) Esquema del Cinturón Panafricano y su límite con el Cratón Africano Occidental.

Fig. 1.- (a) Simplified geological map of the Anti-Atlas domain showing the location of the main inliers (based on Choubert, 1963). Patterns of the main panafrican foliation are depicted. FSA: South Atlas Fault, FAA Anti-Atlas Fault, S: suture. (b) Sketch of the Panafrican belt and its boundary with the West African Craton.

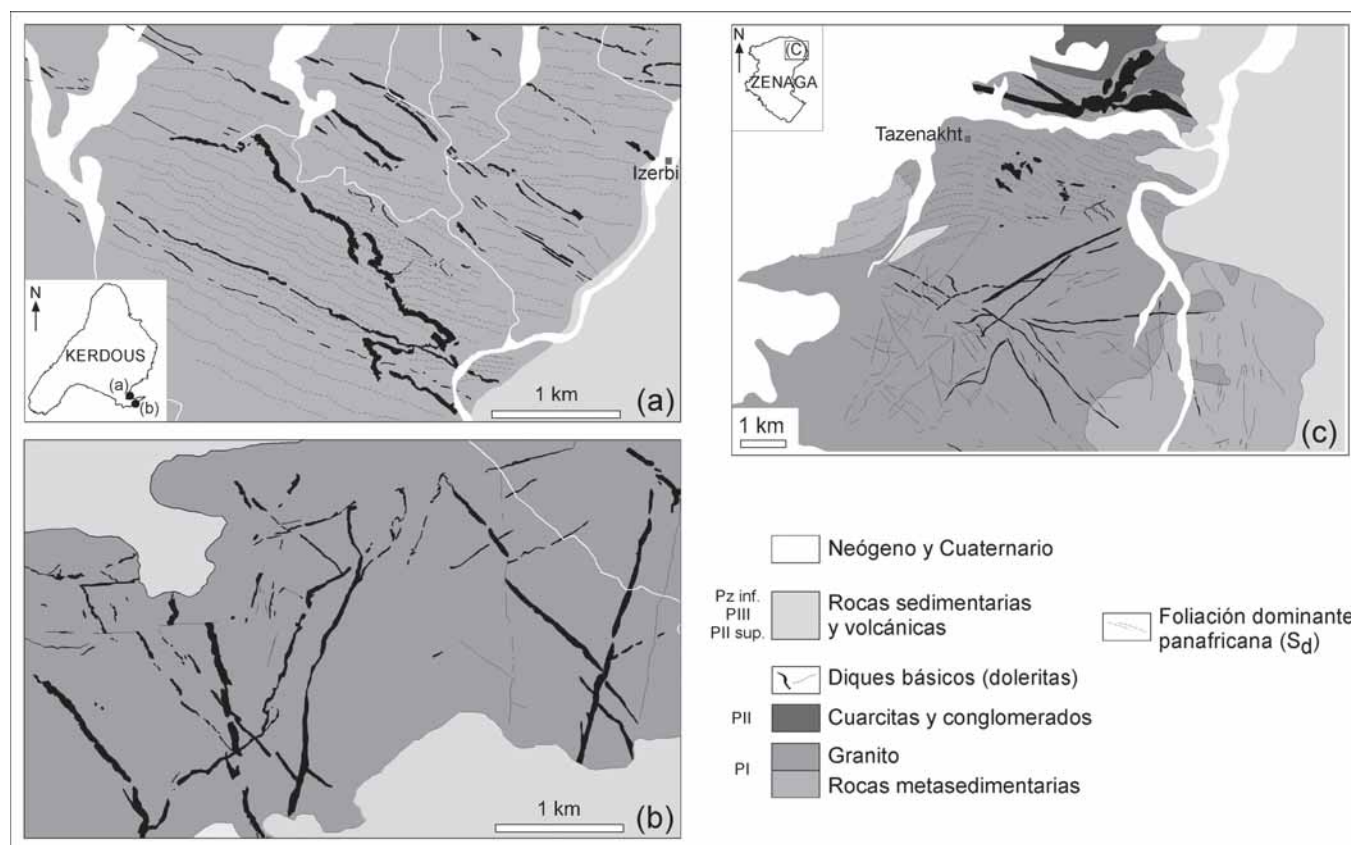


Fig. 2.- Mapas esquemáticos geoestructurales de las zonas investigadas. (a) y (b): *bouttonnière* de Kerdous, (c): *bouttonnière* de Zenaga (a partir de Hafid *et al.* 2002). Nótese la distinta disposición de los enjambres de diques en dominios de intensa deformación (a y zona norte de c) y en dominios escasamente deformados (b y zona sur de c).

Fig. 2.- Schematic geosstructural maps of the study zones. (a) and (b): Kerdous inlier, (c) Zenaga inlier (from Hafid *et al.* 2002). Note the different patterns of dike swarms in high (a and north of c) and low strain domains (b and south of c).

El grado de deformación del PI varía de unos dominios a otros en función de su posición relativa en el orógeno panafricano. De este modo, en la franja septentrional las deformaciones panafricanas llegan a transponer y obliterar casi completamente las estructuras de edad eburniense, como por ejemplo en Bou-Azzer. Por el contrario, en dominios más meridionales correspondientes al borde del cratón, la deformación panafricana se manifiesta en bandas de transposición que en algunos casos responden a zonas de cizalla. En este contexto se sitúa el enjambre de diques básicos que se extienden en todas las *bouttonnières* en las que aflora el PI y que corresponden al margen del WAC.

Configuración estructural del enjambre de diques básicos y sus implicaciones

En general, los diques doleríticos presentan un grado muy variable de deformación. En una primera aproximación, los diques ubicados en las bandas de deformación panafricana aparecen intensa-

mente foliados y muestran una tendencia a estar orientados sub-paralelamente a la foliación dominante panafricana (de dirección E-W y buzamiento subvertical, Fig. 2a). Por el contrario, en dominios donde la foliación eburniense está preservada, los diques forman redes complejas en cuanto a su orientación, siendo en general bastante rectilíneos y débilmente foliados (Fig. 2c; Hafid *et al.*, 2001).

Con estas observaciones y dada la localización de los diques restringida casi exclusivamente al PI, podría deducirse que los diques son post-eburnienses y pre-panafricanos.

Esta es la interpretación más extendida en la bibliografía (Hafid *et al.*, 2001; Thomas *et al.*, 2002; Gasquet *et al.*, 2005) y coincide con algunas de las edades radiométricas obtenidas por el método Rb-Sr de entre 740-800 Ma. para el metamorfismo de contacto de los sedimentos encajantes (Clauer, 1976; Leblanc y Lancelot, 1980; Cahen *et al.*, 1984), previas al evento principal panafricano (660-690 Ma.; Gasquet *et al.*, 2005).

Sin embargo, el análisis en detalle de los diques situados en las *bouttonnières*

del Kerdous y Zenaga (Figs. 1 y 2) muestra que la configuración estructural es más compleja de lo que previamente se ha expuesto. Esta complejidad se evidencia por las siguientes observaciones:

1) Coexistencia de diques deformados y no deformados en dominios de intensa deformación panafricana. Puede descartarse que se trate de generaciones claramente distintas puesto que se observan todos los grados de deformación posibles (Fig. 3a).

2) En dominios sin evidencia de deformación panafricana (Fig. 2b) el grado de deformación de los diques es también variable. Aunque tienden a no estar deformados, algunos muestran deformación localizada mediante foliaciones en sus márgenes o incluso en su interior. Puede descartarse que se trate de diques más antiguos afectados por la deformación eburniense, ya que esta circunstancia se produce incluso en diques emplazados en granitos tardi-eburnienses no deformados.

3) En diques de tipo compuesto es común observar que algunas partes del dique están intensamente foliadas mien-

tras que otras aparecen poco o nada deformadas (Fig. 3b).

Puesto que los diques que forman parte del mismo enjambre presentan un grado variable de deformación, se sugiere un emplazamiento más precoz o más tardío de los mismos en relación con un mismo evento deformativo.

La localización de la deformación en los diques (Fig. 3), incluso en zonas de baja deformación panafricana, indica que debían presentar una menor competencia que los encajantes metasedimentario o granítico. Este carácter incompetente de los diques respecto al encajante solo puede ser explicado si se considera que, durante la deformación, la temperatura del dique debía ser mayor que la del encajante. Las curvas experimentales de resistencia de rocas demuestran que las doleritas deberían ser más resistentes que las rocas graníticas y los esquistos (Ranalli y Murphy, 1987). Por tanto, los diques estarían a alta temperatura y en estado semifundido, favoreciéndose así la localización de la deformación en el dique.

Estas consideraciones son coherentes con los resultados obtenidos a partir de experimentos de deformación de materiales analógicos llevados a cabo con el aparato BCN-Stage. Los materiales utilizados son plastilina como análoga de las rocas encajantes y chocolate fundido rellenando espacios tabulares para simular el emplazamiento de diques. En estos modelos se observa cómo la deformación se localiza en forma de zonas de cizalla alrededor de las inclusiones de chocolate fundido (Fig. 4).

El conjunto de observaciones e inferencias descritas permite interpretar el emplazamiento del enjambre de diques doleríticos como sintectónico en relación con la fase principal panafricana. Esta interpretación es coherente con las observaciones de Walsh *et al.* (2002) en la *bouttonnière* de Tagruga de Tata (Fig. 1), donde las doleritas cortan a estructuras panafricanas de la fase principal y a su vez presentan una débil foliación. Estos hechos han sido interpretados como una continuación de la deformación posterior a la intrusión de los diques.

Implicaciones geotectónicas

La fase principal panafricana con la cual los diques serían contemporáneos se caracteriza por una foliación subvertical y una lineación asociada generalmente muy inclinada (Figs. 1 y 2a, c). Esto, junto a la evidencia de componentes de cizalla en algunos dominios (e.g. en la zona

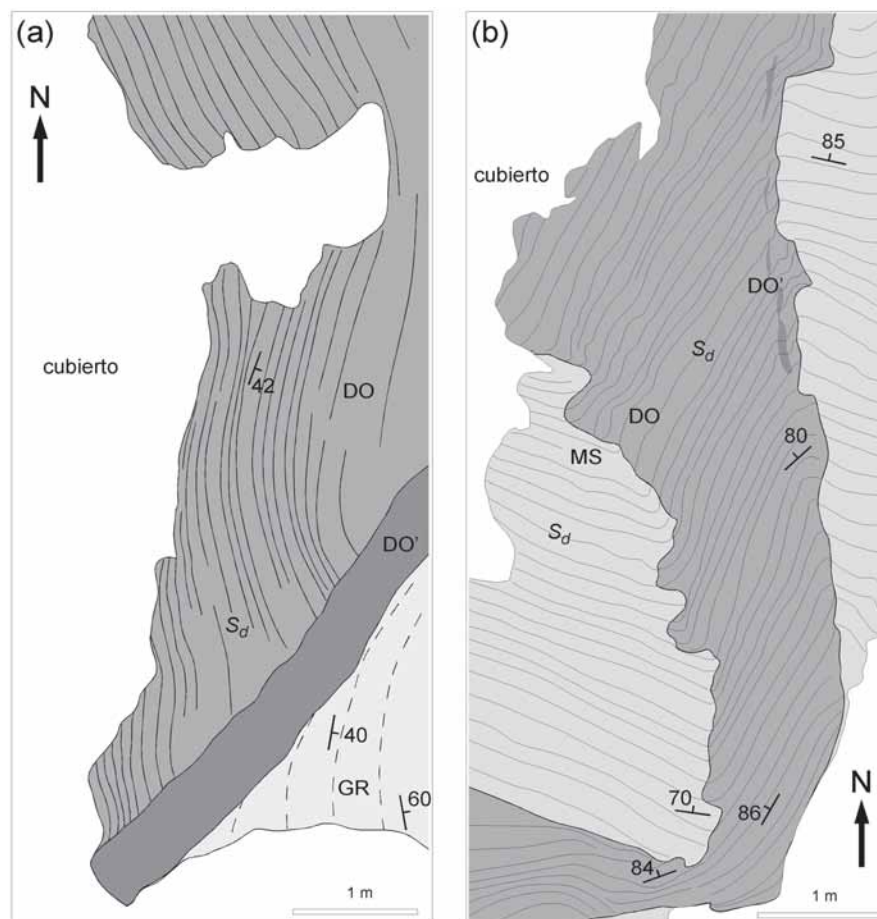


Fig. 3.- Esquemas estructurales de detalle que muestran el patrón de deformación alrededor de diques doleríticos sintectónicos. (a) Dique intensamente deformado en contacto con un granito débilmente foliado. A lo largo del contacto dique-granito se encuentra otro dique no deformado que pertenece al mismo enjambre. NE de Tazenakht, *bouttonnière* de Zenaga. (b) Dique y encajante metasedimentario afectados por la misma foliación. La refracción de la foliación indica el carácter incompetente del dique en relación al encajante. SW of Izerbi, *bouttonnière* de Kerdous. DO: doleritas foliadas, DO': doleritas débilmente deformadas o no deformadas, GR: granito, MS: roca metasedimentaria, S_d: foliación dominante panafricana.

Fig. 3.- Detail structural sketches showing the deformation patterns around syntectonic dolerite dykes. (a) Strongly deformed dyke intruded in a weakly deformed granite. A undeformed dyke of the same swarm is intruded along the boundary between the first dyke and the granite. NE of Tazenakht, Zenaga inlier. (b) A dyke and its metasedimentary wall rocks both affected by the same foliation. Foliation refraction indicates the incompetent behaviour of the dyke with regard to the wall rocks. SW of Izerbi, Kerdous inlier. DO: dolerite, DO': weakly deformed to undeformed dolerites, GR: granite, MS: metasedimentary rock, S_d: Panafrican dominant foliation.

norte de la *bouttonnière* de Zenaga), indica que los diques se emplazaron bajo un régimen geotectónico compresivo a transpresivo. Esta circunstancia es de trascendencia para la evolución geotectónica regional, por cuanto estos enjambres de diques doleríticos de edad proterozoica se han considerado clásicamente como asociados a una etapa de *rifting* continental pre-panafricana y ruptura del Cratón Africano Occidental (Hafid *et al.*, 2001, Thomas *et al.*, 2002, Gasquet *et al.*, 2005).

Los resultados del presente estudio dan pie a reinterpretar el sistema de enjambres de diques doleríticos como asociados a la fracturación del margen norte

del WAC durante la colisión con el arco magmático panafricano de Saghro. Además, la disposición geométrica en aspa de los diques (Fig. 2b, c), frecuente en un gran número de *bouttonnières*, a priori se corresponde mejor con un patrón de fracturación por compresión. Difiere asimismo de los patrones de enjambres de diques paralelos más propios y típicos de contextos extensionales, como por ejemplo el enjambre de diques básicos del W de Escocia (Jolly y Sanderson, 1995). La afirmación de que el magmatismo basáltico-dolerítico se produce en un contexto de acortamiento cortical no descarta que en este contexto se puedan producir localmente situaciones de extensión local.

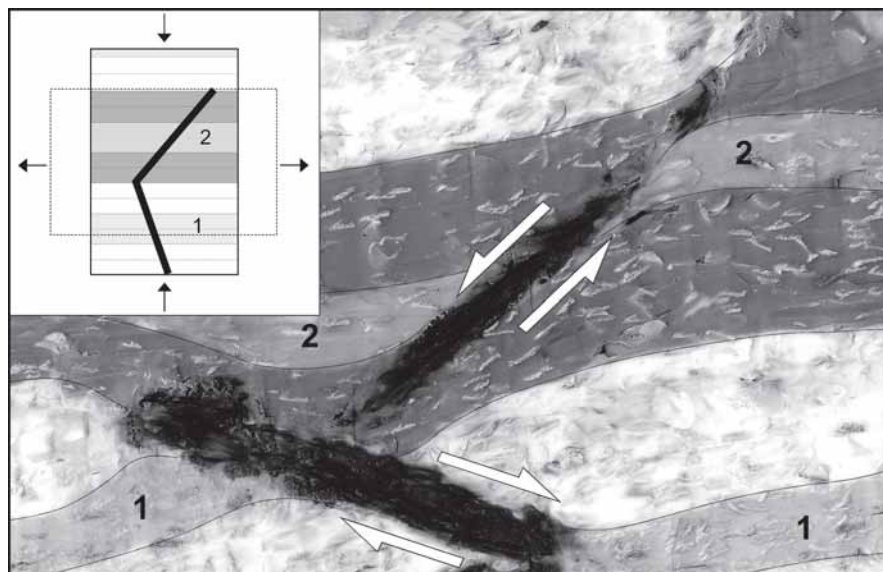


Fig. 4.- Modelo analógico de simulación de la localización de la deformación en diques sintectónicos. Los materiales utilizados son capas de plastilina y confeti como análogos de las rocas encajantes foliadas y espacios tabulares rellenos de chocolate fundido que representan los diques durante su emplazamiento. La fotografía muestra el modelo deformado después de aplicar una cizalla pura con un 50% de acortamiento perpendicular a las capas. Se observa como la deformación se localiza en forma de zonas de cizalla alrededor del material fundido. Ancho de la fotografía: 10 cm.

Fig. 4.- Analogue model simulating strain localization in syntectonic dykes. The materials used for the experiment are layers of plasticine and confetti as analogue of foliated wall rocks and tabular voids filled with molten chocolate representing dykes during emplacement. The photograph shows the model deformed under pure shear after a 50% layer normal shortening. Deformation is localized in shear zones around the molten material. Width of view: 10 cm.

Esta conclusión en que el enjambre de diques se enmarca en un contexto de colisión en relación a la orogenia panafricana, estaría en consonancia con la interpretación de Walsh *et al.* (2002). Por tanto, las edades de los diques deberían ser coincidentes con las del evento principal panafricano (660-690 Ma.; Gasquet *et al.*, 2005) y consecuentemente más recientes que las obtenidas por el método geocronológico Rb-Sr (Clauer, 1976). También esta conclusión sería concordante con la presencia de sills de doleritas en las secuencias PII (Choubert, 1963, Hassenforder, 1987), puesto que su sedimentación es penecontemporánea con el evento panafricano.

El modelo propuesto para el enjambre de diques doleríticos del Anti-Atlas no se aleja de los propuestos por Hanmer *et al.* (1997) para el Proterozoico de Groenlandia y por Carl *et al.* (1998) para el Independence dyke swarm en California. Estas interpretaciones contrastan con la tendencia general a asociar los enjambres de filones básicos a regímenes extensionales.

El estudio estructural de los diques proporciona una información complementaria a la derivada de estudios petrológicos y radiométricos. En algunos casos, como en el aquí expuesto, los datos estructurales poseen un elevado grado de fiabilidad, por lo que se recomienda la revisión de aquellos modelos geotectónicos basados en datos geoquímicos y carentes de estudios estructurales.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el Ministerio de Educación y Ciencia (proyecto CGL2004-03657/BTE) y por la Agencia Española de Cooperación Internacional - AEI (proyecto 190/03/P).

Referencias

Cahen, N.J., Snelling, J. Delhal y Vail, J.R. (1984). *The Geochronology and Evolution of Africa*. Clarendon Press, 512 p.
 Carl, B.S., Glazner, A.F., Bartley, J.M., Dinter, D.A. y Coleman, D.S. (1998).

En: *Geological Society of America Cordilleran Section 1998 Field Guidebook* (R. Behl, Ed.). California State University at Long Beach, California, 4.1-4.26.
 Choubert, G. (1963). *Notes et Mémoires Service Géologique Maroc*, 162, 352 p.
 Choubert, G. y Faure-Muret, A. (1983). En: *Afrique de l'Ouest; Introduction Géologique et Termes Stratigraphiques, Lexique Stratigraphique International* (J. Fabre, Ed.). 1, 80-95.
 Clauer, N. (1976). *Sciences Géologiques Mémoires, Strasbourg*, 45, 256p.
 Gasquet, D., Levresse, G., Cheilletz, A., Azizi-Samir M.R. y Mouttaqi, A. (2005). *Precambrian Research*, 140, 157-182.
 Hafid, A. (1999). *Magmatisme basique filonien neoproterozoique (Precambrien II Inferieur) dans l'Anti-Atlas central et occidental. Mineralogie, géochimie, petrogenese et implication geodynamique*. Tesis Doctoral, Univ. Cadi Ayyad, Marrakech, 222 p.
 Hafid, A., Sagon, J. P., Julivert, M., Arboleña, M. L., Saquaque, A., El-Boukhari, A., Saidi, A. y Soler, J. M. F. (2001). *Journal of African Earth Sciences*, 32, 707-721.
 Hanmer, S., Mengel, F., Connelly, J. y van Gool, J. (1997). *Journal of Structural Geology*, 19, 59-75.
 Hassenforder, B. (1987). *La tectonique panafricaine et varisque de l'Anti-Atlas dans le massif du Kerdous, Maroc*. Tesis Doctoral, Univ. Louis Pasteur, Strasbourg, 249 p.
 Jolly, R.J.H. y Sanderson, D.J. (1995). *Journal of Structural Geology*, 17, 1543-1557.
 Leblanc, M. (1975). *Ophiolites précambriennes dans le PII de l'Anti-Atlas central (Maroc)*. Ph.D. Univ. de Paris VI, 329 p.
 Leblanc, M. y Lancelot, J. (1980). *Canadian Journal of Earth Sciences*, 17, 142-155.
 Ranalli, G. y Murphy, D.C. (1987). *Tectonophysics*, 132, 281-295.
 Saquaque A., Admou, H., Karson, J.A., Hefferan, K. y Reuber, I. (1989). *Geology*, 17, 1107-1110.
 Thomas, R.J., Chevallier, L.P., Gresse, P.G., Harmer, R.E., Eglinton, B.M., Armstrong, R.A., de Beer, C.H., Martini, J.E.J., de Kock, G.S., Macey, P.H. y Ingram, B.A., (2002). *Precambrian Research*, 118, 157.