

# Deformación de cizalla en el domo migmatítico de St. Malo (Macizo Armoricano, oeste de Francia)

*Shear strain in the St. Malo migmatite dome (N Brittany)*

T. Román Berdiel (\*), D. Gapais (\*\*) y J. P. Brun (\*\*)

(\*) Departamento de Geodinámica, Facultad de Ciencias, Universidad del País Vasco, 48080 Bilbao  
(\*\*) Géosciences Rennes, UPR 4661 CNRS, Université de Rennes 1, 35042 Rennes Cédex, Francia

## ABSTRACT

The Cadomian migmatite dome of St. Malo is affected by centimetric to metric shear bands. The shear bands bear a stretching lineation underlined by alignments of fibrous sillimanite crystals at Dinard and St. Briac outcrops. These shear bands were analysed by means of the Right Dihedra method. They indicate a NNE-SSW stretching direction and a subvertical shortening direction. They are consistent with foliation and stretching lineation orientations. This study suggests that the St. Malo migmatite dome was affected by a post-orogenic extensional tectonic regime.

**Key words:** migmatites, shear zone, fault analysis, Cadomian orogeny, Armorican Massif.

*Geogaceta*, 22 (1997), 197-200  
ISSN: 0213683X

## Introducción y situación geológica

El macizo migmatítico de St. Malo forma parte del dominio cadomiense de Bretaña septentrional, deformado y metamorfizado alrededor de 600-540 Ma (Cogné y Wright, 1980, D'Lemos *et al.*, 1990). Dentro de este dominio y formando parte de un cinturón de alta temperatura, el macizo de St. Malo constituye el núcleo de un domo metamórfico asimétrico (Brun, 1977, Brun y Martín, 1978, 1979, Brun y Balé, 1990). Este núcleo migmatítico está compuesto por metatexitas, diatexitas y granitos de anatexia. La edad del emplazamiento, determinada sobre U/Pb sobre circon (Peucat, 1986) en un granito de anatexia asociado ha dado una edad de  $541 \pm 5$  Ma.

El campo de deformación regional combina desgarres senestros y cabalgamientos orientados NE-SW y WNW-ESE respectivamente (Fig. 1) (Balé y Brun, 1983, Brun y Balé, 1990, Strachan y Roach, 1990). Dentro de este contexto, el macizo de St. Malo está limitado al NW y al SE por dos desgarres senestros mayores, el de St. Cast y el de Plouer-Cancale (Fig. 1) (Brun y Balé, 1990, Strachan y Roach, 1990). Por el contrario, en la bahía de St. Briec las unidades están orientadas WNW-ESE y son cabalgantes hacia el SW (Fig. 1) (Balé y Brun, 1983, 1989, Brun y Balé, 1990). Los desgarres están jalonados de intrusiones graníticas cuyo caracter

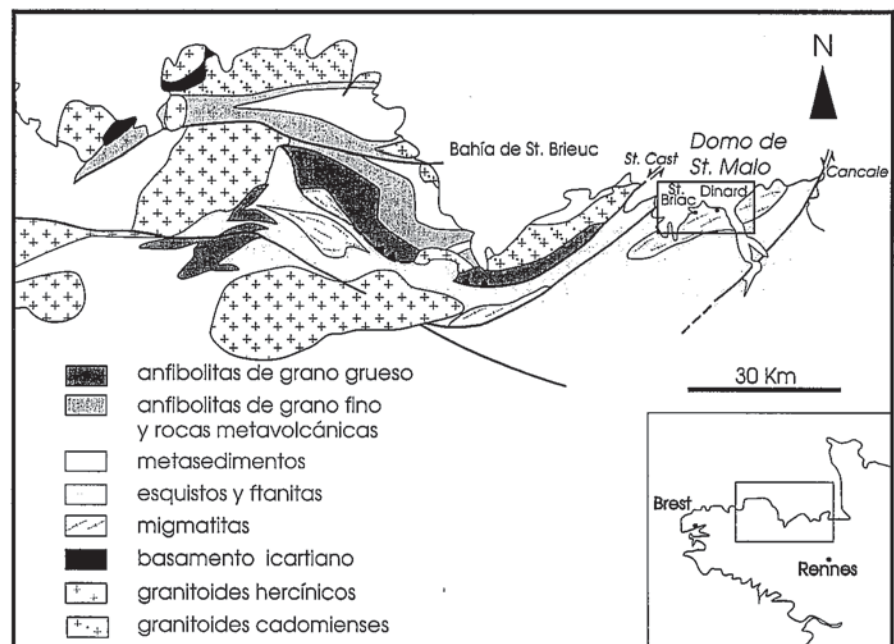


Fig. 1.- Mapa geológico simplificado de la cadena cadomiense del norte de Bretaña con la localización del área estudiada (modificado a partir de Brun y Balé, 1990).

Fig. 1.- Simplified geological map of the Cadomian belt of Northern Brittany with the location of the studied area (modified after Brun and Balé, 1990).

sincinemático está sobradamente demostrado (Brown, 1978, Gapais y Balé, 1990). Trabajos recientes subrayan la estrecha unión que parece existir entre el episodio de migmatización y el emplazamiento de estos granitos (Brown *et al.*,

1990, D'Lemos *et al.*, 1992).

Una de las características de las migmatitas de St. Malo es la fuerte intensidad de las deformaciones en contexto de fusión parcial (Brun y Balé, 1990). Las abundantes estructuras superpuestas

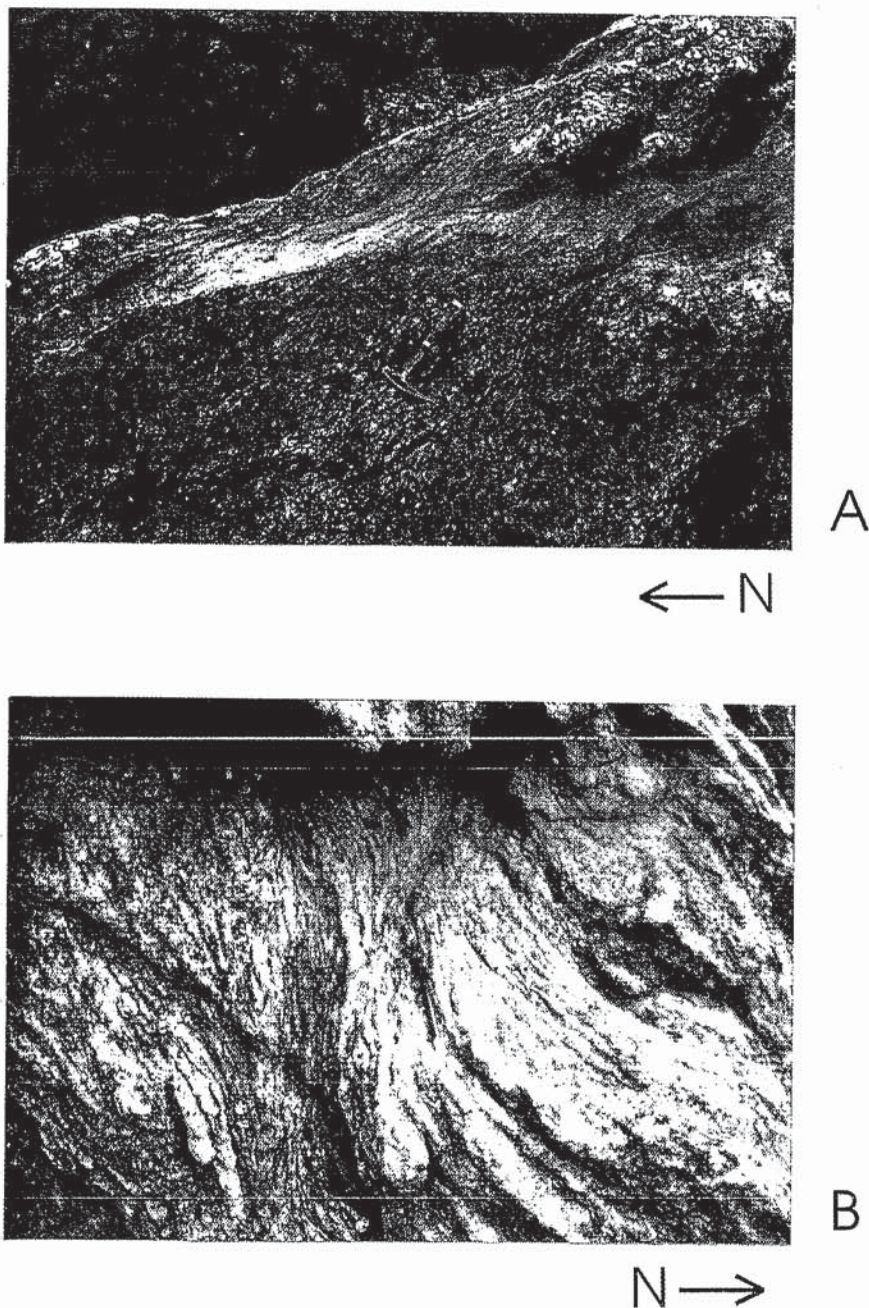


Fig. 2.- Bandas de cizalla en las migmatitas de St. Malo (Dinard). A Banda de cizalla normal de escala métrica. El sentido de cizalla es hacia el N. El martillo mide 33 cm. B Banda de cizalla inversa de escala centimétrica. El sentido de cizalla es hacia el N. El lapicero mide 14 cm.

Fig. 2.- Shear bands in the St. Malo migmatites (Dinard). A Metre scale normal shear band. The sense of shear is top to the N. The hammer is 33 cm length. B Centimetre scale inverse shear band. The sense of shear is top to the N. The pen is 14 cm length.

que se observan fueron interpretadas en un principio en términos de deformación polifásica (Jeannette, 1972, Roach *et al.*, 1972, Ryan y Roach, 1975, Brown, 1978), después se interpretaron en términos de deformación progresiva consecuencia de un emplazamiento diapírico (Brun, 1977, Brun y Martin, 1978, 1979). Los trabajos más recientes realzan el

caracter transpresivo de la tectónica regional (Brun y Balé, 1990, D'Lemos *et al.*, 1992).

Clásicamente, el estudio de la deformación de las rocas migmatíticas se ha basado en el análisis de las relaciones entre foliación regional y pliegues. Las migmatitas son rocas con diferentes tasas de fusión, lo que origina fuertes variacio-

nes de las viscosidades relativas y absolutas. Esto determina pliegues de geometría muy variable que responden a distintos mecanismos genéticos: pliegues de flujo, cizalla simple, aplastamiento, etc. En las rocas más fuertemente afectadas por la fusión se observa la presencia de enclaves de gneiss, cuarzo y schlierens de biotita cuya orientación preferente indica la dirección de flujo, es decir la deformación de la roca en estado plástico. Debido a esta variabilidad de estructuras y mecanismos, es difícil deducir la tipología y el régimen de deformación a partir de elementos tales como los pliegues.

Este trabajo aborda una nueva manera de estudiar este tema. Las bandas de cizalla dúctil, formadas principalmente en los últimos estadios de la migmatización, dan una visión más clara de la deformación finita que afecta a la roca, lo que permite una mejor aproximación al régimen de deformación.

### Metodología

El trabajo de campo se ha centrado en dos afloramientos de migmatitas del Cadomiense situados en los acantilados de Dinard y de St. Briac (Fig. 1). En estos afloramientos se ha medido la foliación, así como una población de bandas de cizalla de escala centimétrica a plurimétrica de 39 y 36 datos respectivamente (Fig. 2). Estas bandas de cizalla se caracterizan por una lineación de estiramiento de sillimanita y/o por la concentración de productos de fusión, amenudo subisótropos respecto al encajante fuertemente foliado (Fig. 2A). Las bandas de mayor tamaño están rellenas de granito de anatexia. Estas observaciones muestran que las bandas de cizalla se han formado en contexto parcialmente fundido.

Las poblaciones de bandas de cizalla con sus lineaciones de estiramiento han sido analizadas por el método de Diedros Rectos (Angelier y Mechler 1977). Este método ha sido clásicamente aplicado al análisis poblacional de fallas con sus estrías (dirección y sentido de movimiento relativo entre los bloques) para obtener los campos compatibles con la orientación de los ejes principales del elipsoide de esfuerzos responsable de su formación. Recientemente, Lisle (1989) utiliza diques con orientaciones diversas y las direcciones de cizalla sobre ellos de la misma forma que las estrías de falla, y muestra que la similitud dinámica de estos dos problemas valida la aplicación de métodos de análisis estadístico de estrías de falla.

Puesto que el método de Diedros

Rectos está basado en criterios geométricos simples puede ser utilizado para la determinación de la orientación de los ejes del elipsoide de deformación infinitesimal a partir de planos C. La finalidad de la aplicación de éste método es observar si se encuentra una compatibilidad entre las soluciones obtenidas y la orientación de la foliación y de la lineación de estiramiento. Se verifica si los diedros de acortamiento y de estiramiento son compatibles con la cinemática deducida de la foliación y de la lineación.

### Resultados y Discusión

En el afloramiento de Dinard la foliación presenta una dirección dominante N100E y buzamiento medio de 40 N (Fig. 3A). Las bandas de cizalla se agrupan en tres familias: 1) bandas de dirección N110E y buzamiento variable, entre 20 N y 80 N, con movimiento normal, 2) bandas de dirección N100E y buzamiento menor de 30 S, con movimiento normal, y 3) bandas de dirección N120E con buzamiento en torno a 25 N y componente inversa (Fig. 2 y 4A). La lineación de estiramiento, medida sobre los planos de cizalla, muestra una dirección bastante constante en torno a NNE-SSW e inmersión variable generalmente hacia el NE (Fig. 4B). No se observa ninguna cronología relativa entre estas familias de bandas de cizalla, y además todas se han desarrollado en un material parcialmente fundido.

Un análisis de estas poblaciones de bandas de cizalla por el método de Diedros Rectos (Angelier y Mechler 1977) muestra que existe compatibilidad cinemática entre la mayoría de las bandas medidas. Se obtiene un máximo de extensión bastante bien definido en torno a 000, 20, y un máximo de compresión próximo a 210, 60 (Fig. 4C). Esta solución es compatible con el 87% de los datos.

En el afloramiento de St. Briac la foliación presenta una dirección dominante N050E y buzamiento medio de 65 N (Fig. 3B). Las bandas de cizalla se agrupan en una sola familia de dirección media N100E, buzamiento en torno a 60 N y componente dextra-normal (Fig. 4D). La dirección de estiramiento, sobre los planos de cizalla, tiene una dirección muy constante ENE-WSW e inmersión mayor que en el afloramiento de Dinard hacia el NE (Fig. 4E).

El 94% de las bandas de cizalla son compatibles con un máximo de estiramiento orientado 020, 20, y un eje de acortamiento 180, 60, obtenidos a partir de la aplicación del método de los Die-

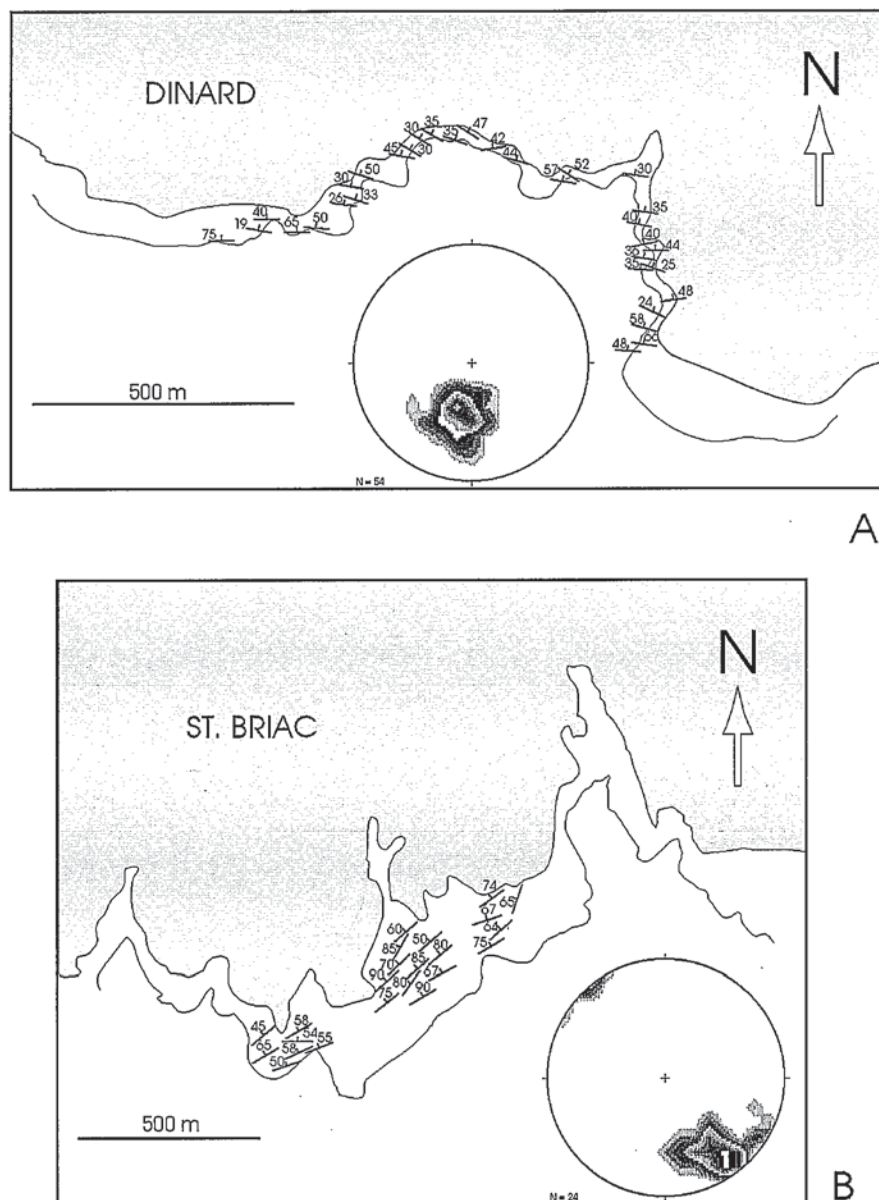


Fig. 3. Datos de los planos de la foliación medida sobre los afloramientos de Dinard (A) y St. Briac (B) y diagramas de densidad de los polos de los mismos.

Fig. 3. Foliation planes on Dinard (A) and St. Briac (B) outcrops and density diagrams of poles of foliation planes.

dro Rectos (Fig. 4F).

Los resultados obtenidos de la aplicación del método de Diedros Rectos concuerdan globalmente con las direcciones principales que aportan las orientaciones medias de la foliación (Fig. 3) y de la lineación de estiramiento (Fig. 4B y 4E). Notar la buena correspondencia que existe entre el máximo de estiramiento obtenido por Diedros Rectos y la lineación de estiramiento media, especialmente en el afloramiento de Dinard.

La foliación con buzamientos hacia el Norte a menudo elevados es compatible con un contexto general transcurrente tal y

como proponen Brun y Balé (1990). Sin embargo, las bandas de cizalla de dirección E-W a ESE-WNW con componente normal son difíciles de relacionar con los dos desgarres senestros mayores que limitan el domo, puesto que serían subparalelas a la dirección regional de acortamiento. La lineación de estiramiento, es bastante constante, e indica una dirección NE tendente a subhorizontal. La dirección de acortamiento obtenida a partir del método de Diedros Rectos es subvertical. Todo esto parece indicar un episodio extensivo que podría estar relacionado con un colapso gravitacional post-engrosamiento.

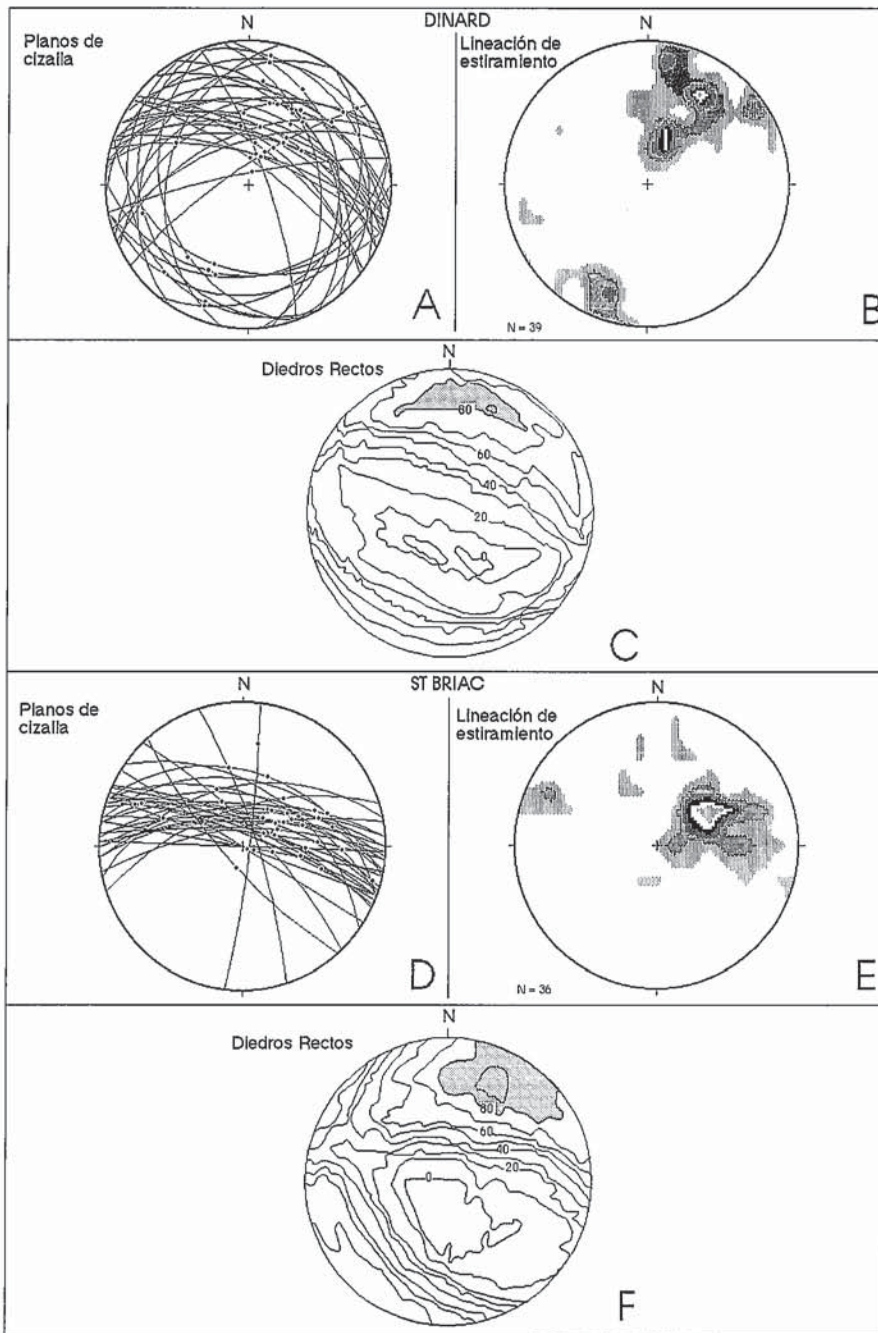


Fig. 4. Bandas de cizalla en los afloramientos de Dinard y St. Briac del domo migmatítico de St. Malo. A y D Proyección estereográfica de los planos de cizalla y de la lineación medida sobre ellos. B y E Diagramas de densidad de la lineación de estiramiento. C y F Ejes de deformación obtenidos a partir del análisis de los planos de cizalla y su lineación (consideradas como estrías de falla) por los métodos de Diedros Rectos. Los diagramas son equiareales, hemisferio inferior, excepto la proyección estereográfica de los planos de cizalla, equiangulares, hemisferio inferior. Los diagramas de densidad están hechos con intervalos del 2.0%.

Fig. 4. Shear bands in the Dinard and St. Briac outcrops of the St. Malo migmatite dome. A and D Stereoplots of shear planes and the stretching lineation on them. B and E Density diagrams of stretching lineations. C and F Strain axes obtained by the Right Dihedra method from the analysis of shear planes and stretching lineations (considered as striations on faults). Diagrams are equal-area, lower-hemisphere except stereoplots of shear planes, equal-angle, lower-hemisphere. Density diagrams are made with a 2.0% contour interval.

Conclusiones

La aplicación de los métodos de análisis estadístico de fallas a las bandas de cizalla muestra una compatibilidad entre las soluciones obtenidas y la orientación de la foliación y de la lineación de estiramiento.

Si bien este estudio es local, centrado únicamente en los afloramientos de Dinard y St. Briac, existen indicios para suponer la actuación de una tectónica extensional sin a post-orogénica, registrada al menos en dichos afloramientos, que afecta al domo migmatítico de St. Malo.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el Ministerio de Educación y Ciencia (beca FPI de T.R.B.) y por el proyecto PB93-1149-CO3 de la DGICYT.

Referencias

Angelier, J. y Mechler, P. (1977): *Bull. Soc. géol. France*, 7: 1309-1318.  
 Balé, P. y Brun, J. P. (1983): *C. R. Acad. Sci., Paris*, 297: 359-362.  
 Balé, P. y Brun, J. P. (1989): *J. Struct. Geol.*, 11: 391-405.  
 Brown, M. (1978): *Precambrian Research*, 6: 1-21.  
 Brown, M., Power, G. M., Topley, C. G. y D'Lemos, R. S. (1990): *Geol. Soc. London, Spec. Pub.*, 51: 181-213.  
 Brun, J. P. (1977): *Can. J. Earth Sci.*, 14: 1697-1707.  
 Brun, J. P. y Martin, H. (1978): *Bull. Soc. géol. France*, 7: 91-101.  
 Brun, J. P. y Martin, H. (1979): *Precambrian Research*, 8: 137-143.  
 Brun, J. P. y Balé, P. (1990): *Geol. Soc. London, Spec. Pub.*, 51: 95-114.  
 Cogné, J. y Wright, A. E. (1980): *26ème Congrès Géol. International, Paris*, 29-55.  
 D'Lemos, R. S., Strachan, R. A. y Topley, C. G. (1990): *Geol. Soc. London, Spec. Pub.*, 51: 3-12.  
 D'Lemos, R. S., Brown, M. y Strachan, R. A. (1992): *J. Geol. Soc. London*, 149: 487-490.  
 Gapais, D. y Balé, P. (1990): *Geol. Soc. Special Publication*, 51: 169-179.  
 Jeannette, D. (1972): *Mem. Sc. Géol. Strasbourg*, 36: 174.  
 Lisle, R. J. (1989): *Geol. Soc. Am. Bull.*, 101: 968-972.  
 Peucat, J. J. (1986): *J. Geol. Soc. London*, 143: 875-885.  
 Roach, R. A., Adams, C., Brown, M., Power, G. y Ryan, P. D. (1972): *Proc. 24th International Geol. Congress, Montreal, Section 1*, 246-252.  
 Ryan, P. D. y Roach, R. A. (1975): *Bull. Soc. Géol. Min. Bretagne*, 7: 1-20.  
 Strachan, R. A. y Roach, R. A. (1990): *Geol. Soc. London, Spec. Pub.*, 51: 133-150.