

Sur l'existence d'une structure circulaire  
énigmatique sous le marais de Dol : s'agit-il  
d'une auréole de métamorphisme de contact,  
d'un impact de météorite, d'un cône  
volcanique résiduel ou d'une caldeira ?

**J. P. LEFORT**

*Laboratoire de Tectonophysique, Allée des Lucanes, Chemin des Cavaliers, Le District, 35250 Saint Sulpice-la- Forêt, FRANCE*

*Résumé: L'étude détaillée d'une partie de la prospection aéromagnétique du Golfe Normano-breton a permis de montrer l'existence, à l'ouest du marais de Dol, d'une structure annulaire associée à l'essaim de filons doléritiques connus dans cette région. Cette structure est aussi à l'origine d'une faible anomalie gravimétrique. On peut montrer, grâce à la pétrographie, à la modélisation magnétique et gravimétrique et aux mesures d'anisotropie de la susceptibilité magnétique, que cet essaim est probablement superposé à une chambre magmatique résiduelle. Parmi les différentes hypothèses que l'on peut émettre sur l'origine de cet objet nous favorisons celle d'un filon circulaire, lié à l'effondrement de la partie supérieure de la croûte dans une chambre magmatique sous-jacente, sans toutefois totalement exclure l'existence possible d'une auréole de métamorphisme de contact, d'un impact de météorite ou d'une caldeira résiduelle si de nouvelles données étaient acquises dans la région .*

*Mots-clés : Magnétisme, gravimétrie, géochimie, pétrographie, anisotropie de la susceptibilité magnétique, filon, météorite, métamorphisme de contact, caldeira, complexe annulaire, Nord Bretagne, Marais de Dol.*

*Abstract: A circular magnetic structure has been evidenced beneath the western part of the Dol marsh during a recent aeromagnetic survey above North Armorica. This structure is superimposed and apparently associated with the Lower Carboniferous dyke swarm known in the area. It is also responsible for a weak gravity high. With the help of various geological and geophysical techniques such as field observations, petrography, geochemistry, magnetic and gravity modelling and anisotropy of the magnetic susceptibility it is possible to suggest that this body is located at the top of an old magmatic chamber. The observed circular structure can be interpreted as a ring-dyke complex resulting from some collapse of the upper crust in an underlaying*

*magma chamber. However, the presence of a circular contact metamorphism, of a remnant caldeira or of a meteoritic impact cannot be ruled out if new data are published in the future.*

*Keywords : Magnetism, Gravity, Geochemistry, Petrography, Anisotropy of Magnetic Susceptibility, dykes, meteorite, contact metamorphism, caldeira, ring dyke, Northern Brittany, Dol marsh.*

## **1- Introduction**

L'essai filonien d'orientation nord-sud qui s'étend entre Lamballe et Pontorson et qui recoupe toutes les formations géologiques antécarbonifères, entre le cisaillement nord armoricain (CNA) et la Manche, représente le plus important affleurement de dolérites en Bretagne. La datation géochronologique par la méthode Argon-Potassium (Leblanc, 1979), effectuée sur 14 sites, suggère une mise en place au Dinantien ( $330 \pm 10$  Ma). Elle a été confortée par l'étude paléomagnétique (Perroud et al., 1986) qui montre l'existence d'une composante primaire ( $D=206^\circ$ ,  $I=14^\circ$ ) largement répandue au Carbonifère. Il est en tous cas certain que des filons d'orientation identique recoupent des formations gédiniennes dans la partie sud de cet essaim (Régault, 1984), et qu'ils sont eux mêmes recoupés par le granite de Dinan daté à  $300 \pm 10$  Ma (Leutwein et al., 1968). La phase d'extension qui est à l'origine de l'intrusion de ce matériel doléritique n'est corrélable avec aucun événement géodynamique contemporain connu dans le Massif Armoricain. Les études pétrographiques et géochimiques (Lahaye et al., 1995) montrent que ces dolérites possèdent un caractère de tholéiites anorogéniques, ce qui implique une absence de contamination crustale. Ces auteurs suggèrent par ailleurs l'existence probable d'une chambre magmatique sous l'ensemble hypovolcanique affleurant. Les édifices volcaniques qui devaient antérieurement se superposer à cet essaim filonien sont aujourd'hui à l'évidence érodés, puisque l'on peut estimer qu'à peu près 5km de terrain ont disparu au-dessus du toit du granite de Dinan.

## **2- Les données de l'aéromagnétisme à l'échelle régionale**

L'ensemble de la zone des filons a été survolée à une altitude de 150 m et un espacement des lignes de vol de 250 m, dans le cadre de la prospection aéromagnétique du domaine cadomien et du golfe Normano-Breton (Programme Géofrance 3D: Projet Armor). Compte tenu de l'altitude constante de vol qui avait été adoptée, du maillage de la prospection, de la largeur des filons (qui peuvent varier de 1 à 24 m sur le terrain) et des susceptibilités magnétiques mesurées au laboratoire (la médiane sur 308 échantillons est de  $5.10^{-3}$  SI), les structures magnétiques linéaires visualisées sur les figures 1 et 2, dont l'amplitude moyenne est de l'ordre de 5 nanoteslas (nT), ne peuvent pas correspondre aux filons larges d'un ou deux mètres habituellement observés sur le terrain mais plus certainement à des zones de concentrations filoniennes ou à de larges filons beaucoup plus aimantés que les autres (certains montrent d'ailleurs une susceptibilité magnétique dépassant  $100.10^{-3}$  SI). Il faut en effet savoir qu'un filon isolé de 5 m de largeur et de 2000 m d'épaisseur, qui serait à

l'origine d'un contraste de susceptibilité magnétique de  $5.10^{-3}$  SI ne provoquerait qu'une anomalie de 1 nT à 150 m d'altitude.

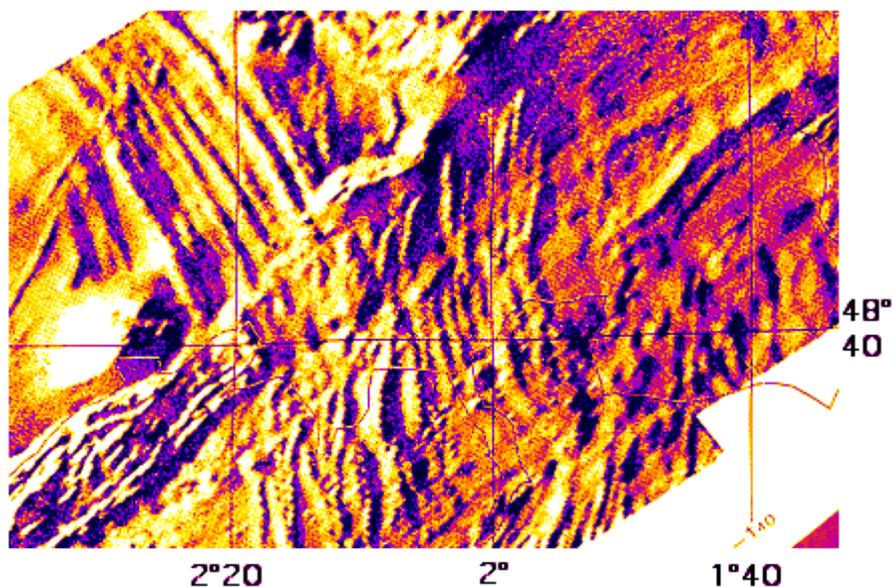


Figure 1- Localisation des structures magnétiques enregistrées entre Lamballe et Pontorson et entre le Cisaillement Nord Armoricaïn et le sud de Jersey (cf. la figure 2 qui donne une interprétation et une localisation plus précise de la prospection). Le trait de côte est figuré en marron. Pour une meilleure visualisation, les structures magnétiques positives ont été représentées comme s'il s'agissait de reliefs selon la méthode d'ombrage de Horn et Bachman (1978). On remarquera les structures allongées qui correspondent à des filons de dolérite (ou à des familles de filons proches les uns des autres) ainsi que les discontinuités N60° qui correspondent à des failles. Le rendu en «fausses couleurs» a pour but de mieux mettre en évidence les reliefs magnétiques positifs.

Malgré cette définition relativement faible, on peut néanmoins observer sur les figures 1 et 2 des structures de détail d'ordre semi-hectométrique, inconnues sur le terrain car, à l'exception des zones côtières, les filons de dolérite ont souvent été cartographiés à partir de remontées de boules altérées reconnues dans les labours.

La technique d'ombrage magnétique (Horn et Bachman, 1978) a été préférée ici au mode de représentation des anomalies par courbes isanomales, car elle permet, en faisant varier l'inclinaison et l'azimuth des «rayons incidents», de mieux mettre en évidence les structures magnétiques de faible amplitude (Figure 1).

Pour une meilleure localisation spatiale des objets géologiques à l'origine des anomalies, une réduction au pôle actuel avait, au préalable, été réalisée.

Cette technique permet de s'affranchir de la partie négative des anomalies bipolaires qui caractérisent les levés magnétiques effectués sous nos latitudes.

Compte tenu de l'orientation subméridienne de la grande majorité des filons (ou groupes de filons) il n'a pas été possible de calculer leur pendage en profondeur afin de le comparer avec ceux qui ont été mesurés sur le terrain. Il faut enfin se souvenir qu'il n'existe, en magnétisme, aucune méthode satisfaisante pour calculer avec précision la profondeur à laquelle ces filons s'enracinent.

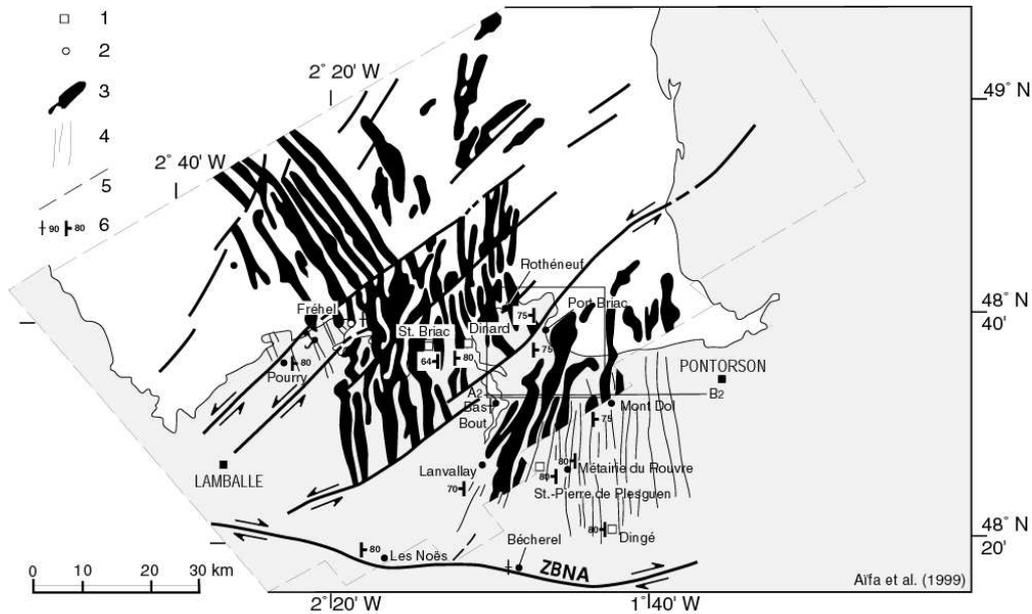


Figure 2- Interprétation et localisation détaillée du levé aéromagnétique représenté sur la figure 1. On remarquera que l'essaim filonien (représenté en noir) est décroché par des failles senestres tardives. La largeur réelle des filons individualisés par aéromagnétisme (et qui représente sans doute des associations de filons voisins) est plus importante que celle des filons bien individualisés reconnus sur le terrain (cf. la zone située au sud de la prospection aéromagnétique). Symboles carrés (1) : sites montrant un Kmax vertical (voir le chapitre concernant l'anisotropie de susceptibilité magnétique) ; symboles circulaires (2) : sites montrant un Kmax oblique (se rapporter à ce même chapitre) ; tâches noires (3) : filons ; traits sub-verticaux (4) : filons observés sur le terrain ; traits rectilignes obliques (5) : failles ; signe de pendage (6) : valeur du pendage des filons observés sur le terrain. La limite de la prospection est indiquée par des contours géométriques.

### 3- Les données gravimétriques à l'échelle régionale

Goguel (1950) a depuis longtemps remarqué que les granites de la région comprise entre Lamballe et Pontorson, et qui sont recoupés par l'essaim de filons doléritiques, sont les seuls du Massif Armoricain à présenter une

anomalie gravimétrique positive. Nous avons aussi déjà montré (Lefort et al., 1995) que la masse totale de ces filons est très faible et insuffisante pour provoquer l'anomalie mesurée. Le but de ce travail n'étant pas de modéliser en détail les anomalies connues dans la région, mais seulement de rechercher s'il existait des arguments convergents en faveur de l'existence d'une chambre magmatique sous l'essai filonien, nous avons utilisé ici une méthode de modélisation directe en 2,5 dimensions (Plouff, 1975). Après avoir procédé au retrait d'une anomalie régionale associée à la nature hétérogène de l'encaissant (à l'Est, la densité moyenne du granite de St Broladre est de  $2,67 \text{ g/cm}^3$  tandis qu'à l'Ouest, la densité moyenne des migmatites de St Malo est de  $2,60 \text{ g/cm}^3$ ), l'anomalie résiduelle a été modélisée. Lors de cette modélisation nous avons été amenés à utiliser un contraste de densité de  $0,015 \text{ g/cm}^3$ , qui résultait des mesures de densité déjà effectuées dans la région. L'existence d'un corps lourd, de densité proche de  $2,74$  et d'environ 25 kilomètres de large sur 13 kilomètres d'épaisseur et dont le toit serait localisé à 2,5 kilomètres de profondeur, permet d'expliquer cette anomalie. Toutefois, compte tenu de l'absence de mesures de densités en profondeur, la forme réelle de ce corps n'est qu'approximative. Seule la profondeur de son centre ( $7,5 \text{ km}$ ) est bien contrainte.

Afin d'effectuer une comparaison avec les données gravimétriques nous avons simultanément réalisé une modélisation magnétique. Là encore le retrait d'une anomalie régionale a été nécessaire, probablement à cause de la différence d'aimantation qui existe entre les migmatites de St Malo (dont la susceptibilité est pratiquement nulle) et les granodiorites cadomiennes localisées à l'Est (dont la susceptibilité est égale à  $3 \cdot 10^{-4} \text{ SI}$ ). On précisera ici que la médiane de l'aimantation rémanente est de  $0,615 \text{ A/m}$  (soit  $6 \cdot 10^{-4} \text{ uem/cm}^3$ ) ce qui représente à peu près le millième du champ induit ; elle peut donc être négligée.

Le corps que nous avons modélisé (Lefort et Aïfa, 1996) est interrompu brusquement à l'Ouest, par la faille de Port Briac déjà mise en évidence par magnétisme (Lefort et al., 1995). La forme de l'anomalie gravimétrique suggère que cette masse lourde et magnétique s'allongerait selon une direction Nord-Sud, identique donc à celle des filons. La susceptibilité magnétique que l'on a été amené à utiliser dans la modélisation, laisse enfin penser que cet objet pourrait être constitué de gabbros.

#### **4 - Les données de l'anisotropie de susceptibilité magnétique à l'échelle régionale**

Parmi les études magnétiques menées sur ces filons, les résultats de l'anisotropie de susceptibilité magnétique (ASM) présentent un intérêt tout à fait particulier pour ce qui est de la mise en place du magma doléritique (Lefort et Aïfa, 1996 ; Aïfa et al., 1999 ; Aïfa et Lefort, 2001). Ces études effectuées sur 13 sites (correspondant à l'analyse de 308 échantillons), montrent (Figure 4) que 4 sites sont caractérisés par un  $K_{\text{max}}$  (maximum d'anisotropie) vertical ou subvertical. On pense actuellement que le  $K_{\text{max}}$  peut être considéré comme un traceur du fluage magmatique (Ernst et Baragar, 1992). C'est pourquoi ces mesures peuvent être interprétées comme témoignant de la remontée verticale

du magma vers la surface. On peut donc envisager que ces zones correspondaient à des lieux de transit préférentiel du magma entre la chambre magmatique sous-jacente et un édifice volcanique, aujourd'hui disparu, en surface. On remarquera que les zones où ce transfert vertical a été observé (St-Pierre de Pléguen, Dingé, St-Briac et Dinard) se situent toutes près du centre du cortège filonien (Figures 2 et 4) lorsque l'effet des décrochements tardifs (qui ont décalé le cortège filonien) est annulé.

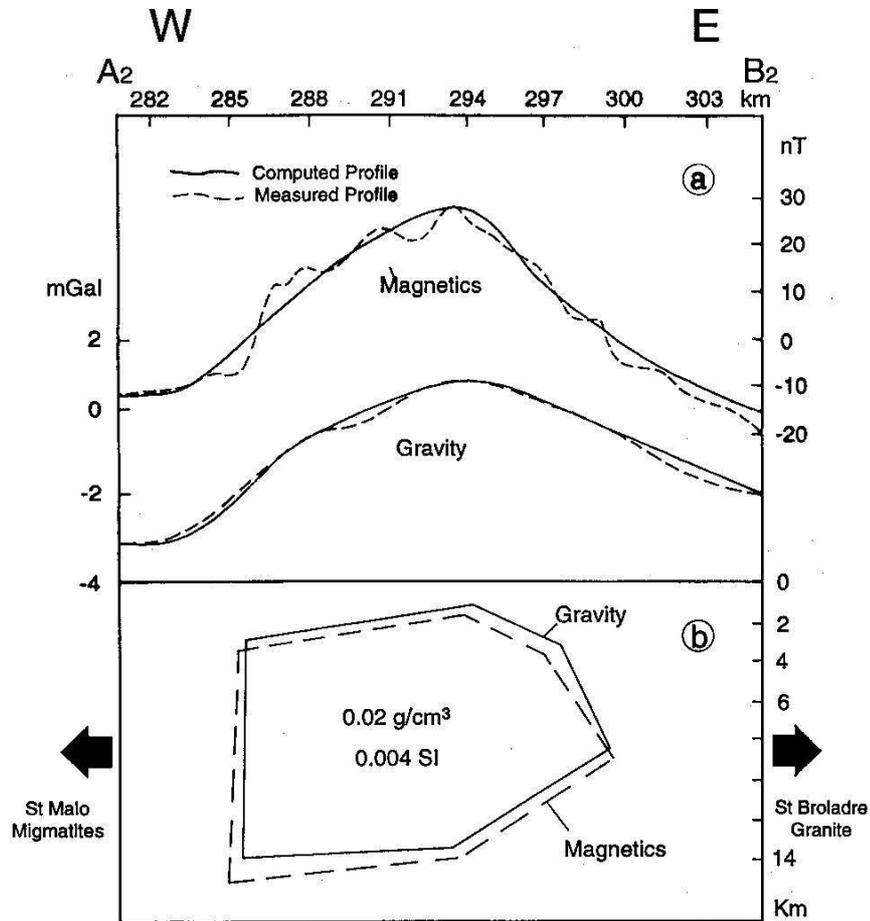


Figure 3- Modélisation magnétique et gravimétrique simultanée en 2,5 D des anomalies de basse fréquence associées à l'essai filonien de la région de St Malo. **a** : Les courbes mesurées et calculées ont été individualisées. **b** : Géométrie approximative du corps profond à l'origine de l'anomalie gravimétrique mesurée. A titre de comparaison on a aussi montré le résultat de la modélisation magnétique. On notera que compte tenu des données mesurées sur échantillons, la forme du corps obtenue par modélisation gravimétrique est proche de celle déterminée par la modélisation magnétique. L'objet ainsi modélisé représente très probablement la chambre magmatique envisagée lors de l'étude géochimique.

Les mesures d'ASM ont été réalisées grâce à un magnétomètre spinner Schonstedt DMS-1 (Aïfa et Lefort, 2001). Un tenseur de susceptibilité normalisé a été calculé pour chaque échantillon mesuré en utilisant le tenseur statistique de Jelinek (1978). Les données de l'ASM ont été représentées grâce à une méthode de contourage sur des projections à aire égale, ou diagrammes de Kamb (1959). Le fluge magmatique vertical a aussi été vérifié sur plusieurs lames orientées.

L'étude détaillée menée sur 72 échantillons prélevés selon une coupe transversale à l'essai filonien montre fréquemment l'existence d'une susceptibilité magnétique plus élevée au centre du filon qui peut atteindre  $7.10^{-2}$  SI (Aïfa et al., 1999). Sur les bords, la susceptibilité magnétique plus faible qui est généralement constatée, peut être liée soit à des injections multiples dans le même filon, soit à des phénomènes d'altération, soit encore à une variation de la composition chimique du magma au cours de la mise en place du filon. Les cas où la susceptibilité magnétique est inférieure au centre sont beaucoup moins fréquents et ne représentent que 12% des filons étudiés.

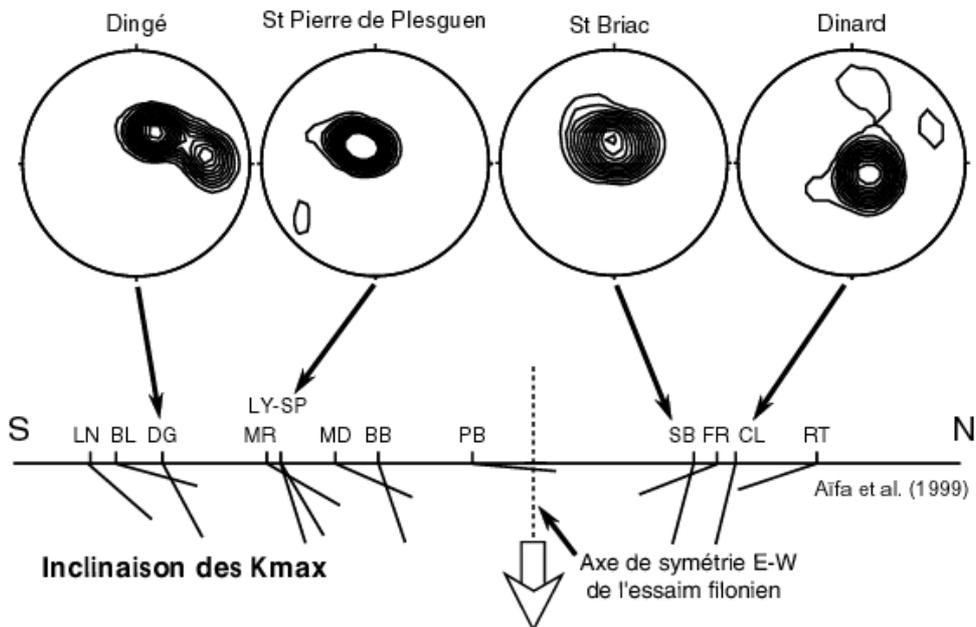


Figure 4 – Projection des sites montrant l'existence d'un flux magmatique vertical (diagrammes de Kamb, 1959) sur une coupe transversale de l'essai filonien après annulation des décrochements tardifs. Les pendages des filons mesurés sur le terrain sont donnés, on note qu'à part le site central (qui correspond vraisemblablement à un sill), tous les pendages des filons convergent vers un point matérialisé par la pointe de la flèche colorée. C'est précisément là où l'on s'attend à trouver l'axe de la chambre magmatique. Deux des sites caractérisés par un Kmax vertical ou subvertical se localisent d'ailleurs rigoureusement à l'aplomb de l'axe de la coupe de la chambre magmatique que nous avons modélisée (Lefort et al., 1995). L'anisotropie de susceptibilité magnétique montre en outre que les filons les plus externes sont caractérisés par un flux magmatique oblique.

## 5 - La structure magnétique circulaire reconnue sous le Marais de Dol

La zone Est du marais de Dol de Bretagne (voir la zone encadrée de la Figure 2) présente un intérêt particulier car on peut y observer, outre des "filons" linéaires, une structure circulaire superposée à un "filon" (ou à une association de filons) d'orientation N23°. Cette structure est visible aux coordonnées Lambert x = 290, y = 2407. Afin d'être certain qu'il ne s'agissait pas d'un «artefact» lié à la méthode d'ombrage, nous avons fait varier systématiquement, l'inclinaison et l'azimuth «d'éclairage» des structures magnétiques. De fait, cette structure est bien visible sous un «éclairage» d'inclinaisons comprises entre 30° et 45° aussi bien pour des azimuths de N10°, N40°, N60°, N80°, N100°, N125°, N135°, N180°, N260° et N320°. Pour les autres directions certaines parois de la structure circulaire disparaissent parfois, ce qui pourrait suggérer que certaines parties des «murs» de cette structure sont moins élevées et moins pentées.

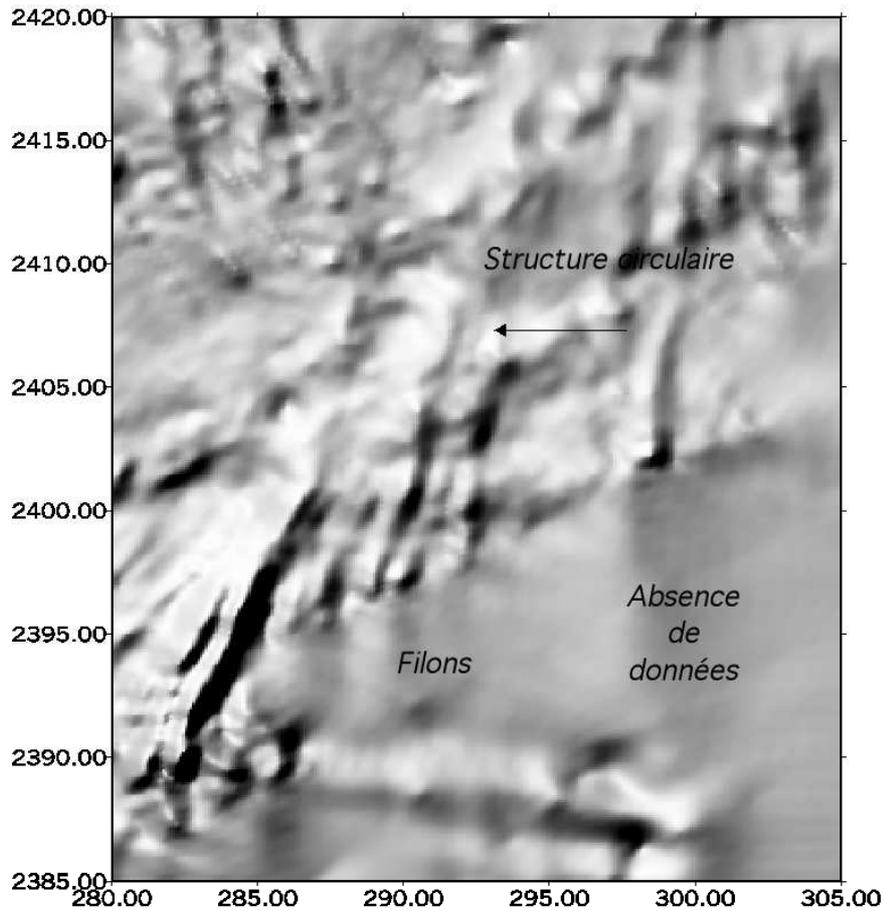


Figure 5- Localisation de la structure magnétique circulaire représentée avec un faible gamma de luminosité. La flèche noire indique la structure circulaire (les coordonnées sont exprimées en kilomètres).

L'étude de l'encaissant de la structure circulaire montre les raisons de ces variations. Alors que les flancs Nord de la structure ne sont en contact avec aucun filon comme le montrent les figures 5 et 6, son flanc sud est par contre en continuité avec une masse importante de filons épais qui semblent converger vers le centre de cette structure circulaire, ce qui a localement pour effet de diminuer le contraste magnétique entre ce flanc et son encaissant et donc son expression « topographique ».

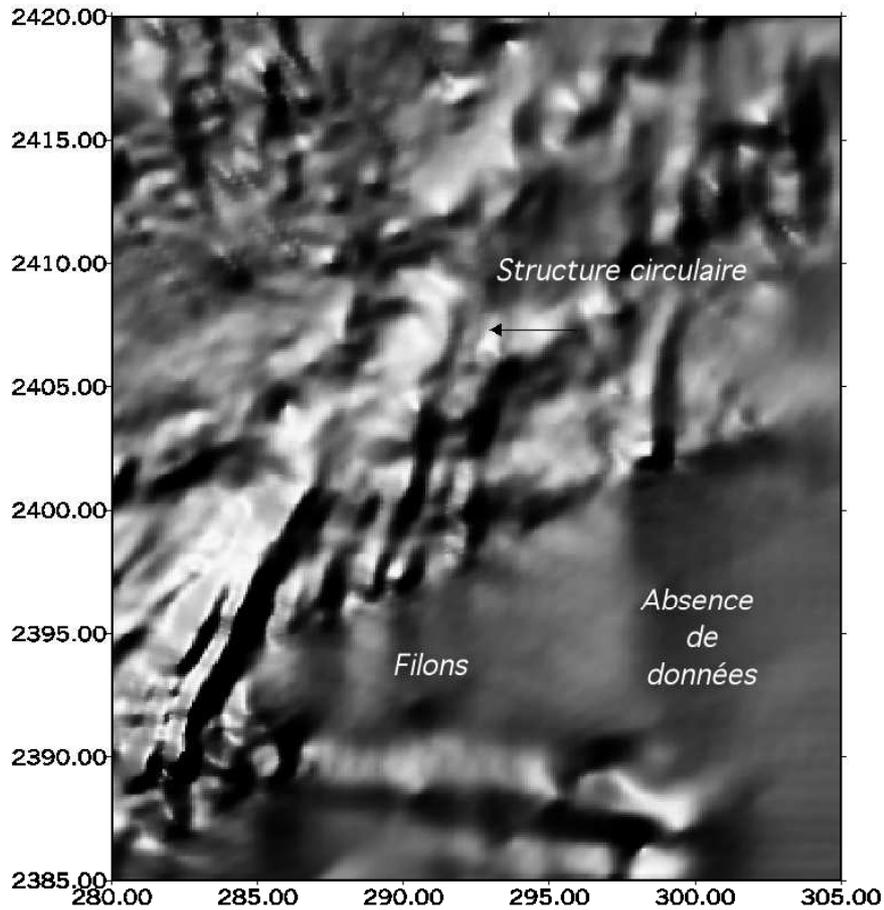


Figure 6 - Mise en évidence de la même structure magnétique circulaire à l'aide d'une technique de filtrage plus complexe. On note que son individualisation n'est pas liée à la méthodologie utilisée. Coordonnées exprimées en kilomètres.

On peut confirmer cette observation grâce à la figure 7 qui montre une nette différence d'aimantation entre l'encaissant situé au nord et celui situé au sud. Sur cette figure, les contours des isanomaes sont exprimés en nT. Les roches les plus aimantées sont représentées en rouge tandis que les zones les moins aimantées sont figurées en vert.

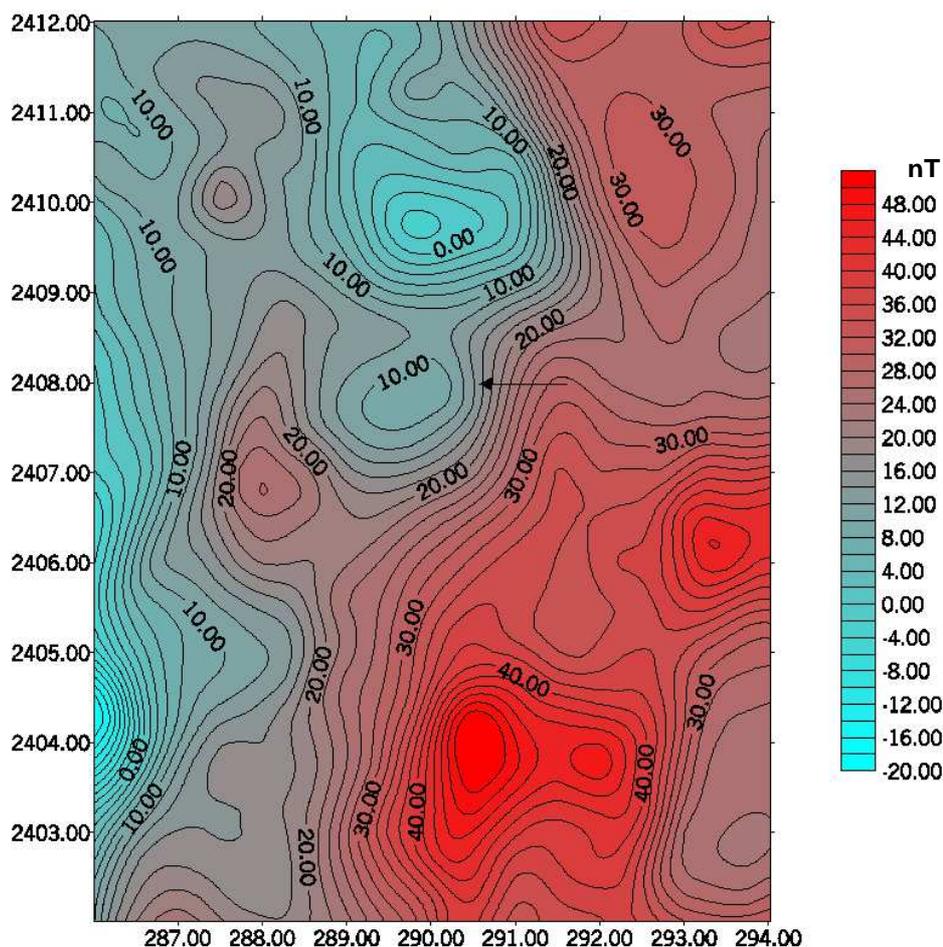


Figure 7 - Vue de la structure magnétique circulaire selon la méthode des contourages. La structure est indiquée par une flèche noire. On note que la zone située au nord de la structure (figurée en vert) est faiblement aimantée tandis que celle située au sud (figurée en rouge) est fortement aimantée.

Tous ces arguments confortent l'idée que la structure circulaire a bien une réalité magnétique, ce que confirme d'ailleurs «l'éclairage» vertical de cet objet.

Afin de mieux visualiser encore l'existence de cette structure singulière, nous l'avons, sur la figure 8, totalement isolée de son contexte structural, ce qui permet d'observer à la fois la faible intumescence qui existe près de son centre et la dissymétrie de ses flancs. Les flancs internes paraissant plus abruptes que ses flancs externes. Il faut insister sur le fait que ces «reliefs géophysiques» peuvent tout aussi bien correspondre à une topographie affectant un socle d'aimantation uniforme qu'une région présentant des zones plus

aimantées mises en évidence par un encaissant d'aimantation plus faible.

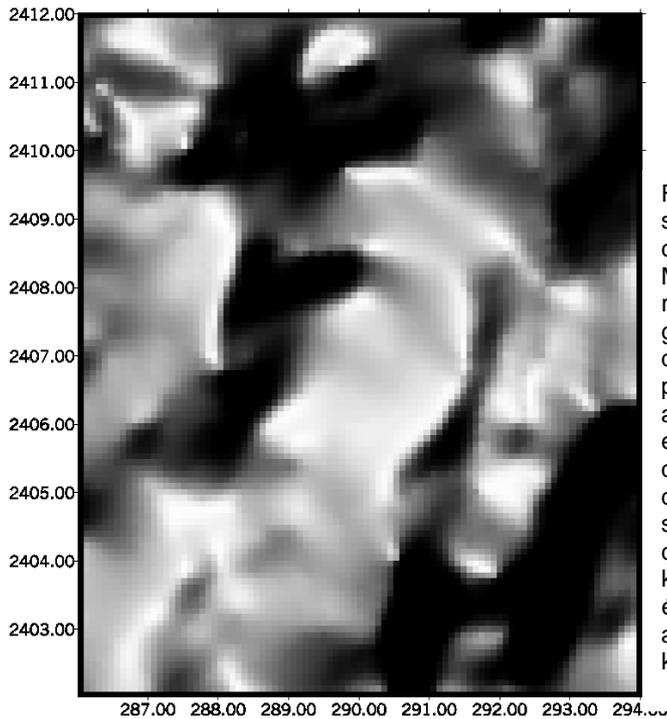


Figure 8 – Détail de la structure magnétique circulaire observée sous le Marais de Dol (pseudo relief mis en évidence grâce à un «éclairage» d'incidence  $i=45^\circ$  émis à partir d'un azimuth  $a=310^\circ$ ). L'aspect de flou est lié à l'agrandissement des pixels. Selon l'échelle, qui peut être appréciée en se reportant aux coordonnées kilométriques, la structure étudiée aurait approximativement 4 kilomètres de diamètre.

#### 6 – Aperçu sur le calcul de l'amplitude des flancs de la structure circulaire en gravimétrie et en magnétisme

La prospection gravimétrique qui a été réalisée dans cette région (Bollo, 1950) n'est pas homogène, le pas d'échantillonnage moyen étant de l'ordre d'un kilomètre et l'espacement entre les profils pouvant se monter à cinq kilomètres. Remarquons néanmoins que les «flancs» est et ouest de la structure circulaire ont été échantillonnés avec une assez bonne densité de mesures (pas d'échantillonnage 500 m). Le recontourage de la carte gravimétrique initiale à partir des valeurs ponctuelles de l'anomalie de Bouguer, ne montre qu'une faible perturbation des isanomales au voisinage de la structure magnétique. Ceci est dû au fort gradient régional qui affecte cette zone et qui est lié à la différence de densité importante qui existe entre les migmatites de St Malo (de densité  $2,60 \text{ g/cm}^3$ ) localisées à l'Ouest, et l'ensemble "lourd" que constituent les granodiorites cadomiennes (de densité  $2,67 \text{ g/cm}^3$ ) et le large affleurement briovérien (de densité  $2,71 \text{ g/cm}^3$ ) situé à l'Est. En coupe, la soustraction de ce gradient «régional» (qui s'élève à  $0,5 \text{ milligals/km}$ ) permet de montrer que le flanc Ouest de la structure est bien visible et responsable d'une anomalie positive de  $1,5 \text{ milligals}$  et que le centre de la structure est déprimé (anomalie négative). Son flanc Est, lui aussi positif (il montre une anomalie d'environ  $1$

milligal), est par contre incomplet. Il est donc clair, que la structure annulaire possède une expression gravimétrique, mais que celle-ci s'exprime de façon beaucoup moins nette qu'en magnétisme, peut-être en partie à cause de la faible densité des informations gravimétriques.

En magnétisme, selon la même coupe, les flancs Ouest et Est montrent une amplitude de près de 5 nT.

## **7. Origines possibles de la structure annulaire**

Cette structure, caractérisée par un anneau de roches magnétiques en partie lourdes, montre une zone centrale moins magnétique et moins dense. Quatre interprétations sont possibles pour expliquer son origine, il s'agit, soit:

**a/** d'une intrusion granitique légère centrale, entourée de son auréole magnétique de cornéennes. Toutefois le Mont Dol, situé à 20 km plus à l'Est et qui possède une telle bordure métamorphique, ne montre aucune auréole magnétique sur le même lever aéromagnétique. De fait cette auréole métamorphique, si elle existait, serait trop étroite pour être observée sur les données dont nous disposons. De plus, dans l'hypothèse où il existerait un massif granitique central, celui-ci recouperait, d'après notre image (Figures 5 et 6), les filons doléritiques. Or on sait, que mis à part le cas particulier du granite de Dinan situé plus au Sud-Ouest, tous les massifs intrusifs environnants sont d'âge cadomien et qu'ils sont recoupés par les dolérites d'âge Carbonifère inférieur. Cet élément constitue une objection fondamentale pour ce qui est de notre première hypothèse.

**b/** d'un reste d'édifice volcanique qui représenterait l'un des exutoires du magma remonté à la surface par les filons. Mais on sait que le granite hercynien de Dinan n'affleure de nos jours que parce que cinq ou six kilomètres de terrains surincombants ont été érodés. Une telle érosion aurait nécessairement fait disparaître, par la même occasion, les édifices volcaniques situés au-dessus des filons, à supposer qu'ils aient un jour réellement existé à cet endroit. C'est ce qui nous amène à abandonner cette deuxième hypothèse.

**c/** d'un impact de météorite. Notre structure circulaire présente certaines des caractéristiques d'un impact de météorite, tel le léger renflement central et les parois internes plus abruptes que les flancs périphériques ainsi que cela a déjà été cartographié par magnétisme et gravimétrie au niveau de l'impact de Chicxulub au Mexique (Figure 9). Dans ce cas, les densités mesurées au centre de la structure sont aussi plus faibles que celles enregistrées sur les bords. Dans cette hypothèse, la structure magnétique circulaire que nous avons reconnue pourrait résulter de l'effet d'un bourrelet magnétique constitué par une brèche d'impact mêlant à la fois des fragments de météorite, de verre à titanomagnétite et titanohématite (Smirnov et al., 2001) et de roches broyées issues de l'encaissant (Pilkington et Grieve, 1992). Il semble en effet que la présence d'un épanchement de laves basaltiques (et donc magnétiques) entourant le léger relief central n'a pour l'instant été reconnu que sur d'autres planètes (Jeager et al., 2003). Il paraît important de souligner, qu'à part quelques exemples mondialement célèbres de cratères intacts affleurant dans des régions plus ou moins désertiques, la majorité des cratères d'impacts

récemment reconnus, ne l'ont été que grâce aux techniques du RADAR, sous une couverture sédimentaire, parfois épaisse, qui les a protégés de l'érosion. Il s'agirait là d'un argument de plus en faveur de notre hypothèse.

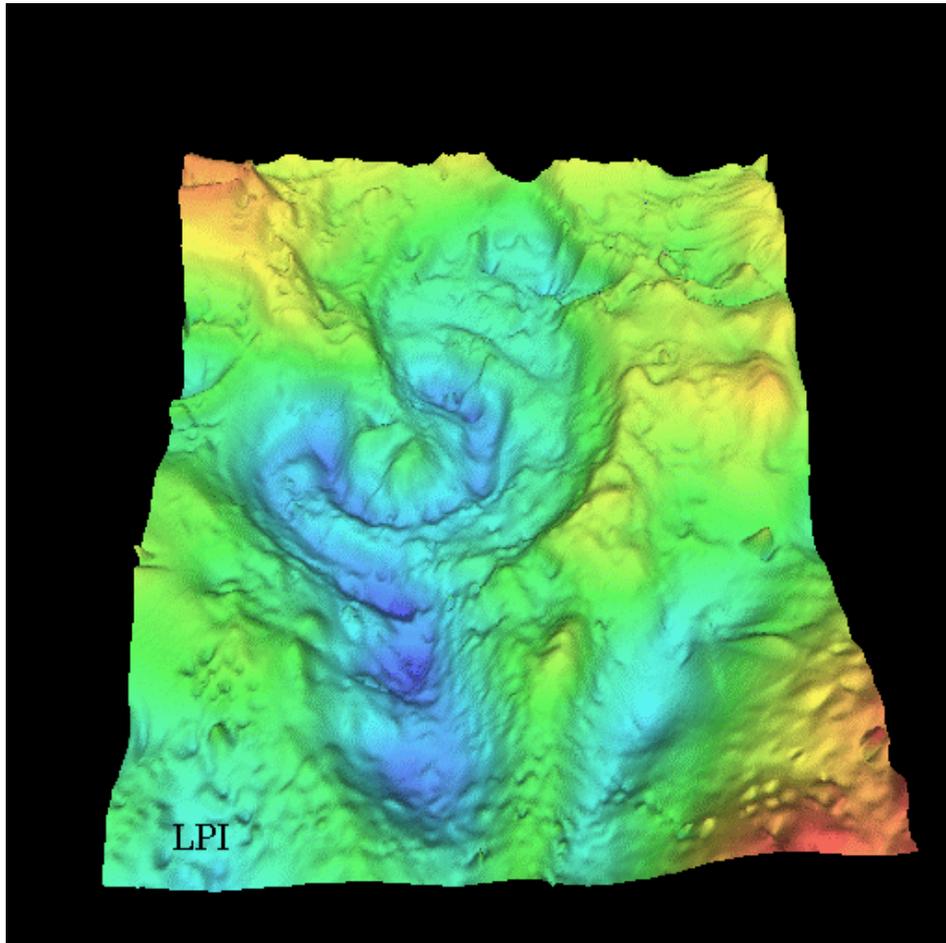


Figure 9- Représentation magnétique et gravimétrique conjointes de l'impact de météorite de Chicxulub au Mexique. (d'après A. Hildebrand, Geological Survey of Canada). Diamètre de la structure interne (en bleu) environ 40 Kilomètres.

La seule difficulté qui apparaisse dans cette interprétation est qu'il faudrait admettre que cet impact de météorite se soit développé, fortuitement, juste au-dessus de la chambre magmatique que nous avons modélisée.

d/ d'un complexe annulaire analogue par exemple à celui qui affleure à l'île de Mull (Symes et al., 1973), qui est de taille identique à l'objet qui a été reconnu sous le marais de Dol et qui se trouve, lui aussi, à cheval sur un essaim filonien. Ce type de structure ne pouvant de toute façon, et selon nos critères indirects, être difficilement différenciée d'une caldeira qui aurait repris

son activité volcanique après la phase d'effondrement initiale dans la chambre magmatique (Myers, 1975). Les résultats concernant l'existence d'une chambre magmatique, l'alimentation verticale de certains filons doléritiques situés à son sommet, la nature basique de l'auréole détectée en profondeur et l'intersection que l'on constate entre l'essaim filonien et la structure circulaire, plaident dans ce sens.

## **8 - Conclusions**

L'étude détaillée d'une partie de la prospection aéromagnétique du Golfe Normano-breton a permis de montrer l'existence, à l'ouest du marais de Dol, d'une structure magnétique annulaire. Cette structure est aussi à l'origine d'une faible anomalie gravimétrique. L'étroite association que l'on note entre la structure annulaire et l'essaim filonien daté du début du Carbonifère, suggère qu'ils sont de même âge et de même nature. On peut aussi montrer, par la pétrographie et la modélisation magnétique et gravimétrique, que cet essaim est superposé à une chambre magmatique résiduelle probable. Ces conclusions ne sont pas dépendantes de la taille de la chambre que l'on sait peu contrainte. Les mesures de l'anisotropie de susceptibilité magnétique renforcent cette façon de voir. Elles suggèrent que le flux magmatique était vertical entre la chambre sous-jacente et le centre du cortège filonien, là où se trouve précisément localisée la structure annulaire.

Nous interprétons donc cette structure soit comme un filon circulaire soit comme une caldeira liée à l'effondrement d'une partie de la croûte supérieure dans la chambre magmatique, selon un mécanisme déjà imaginé par Chapman (1966) ou Myers (1975), la taille des objets décrits étant la même.

L'éventualité d'un cratère de météorite ne doit toutefois pas être exclue tant sur la base d'arguments magnétiques et gravimétriques que morphologiques. Et ce n'est que la superposition entre cette structure et la chambre magmatique, qui nous fait préférer la première solution. Les hypothèses concernant l'existence d'un cône volcanique résiduel ou celle d'une auréole de métamorphisme de contact ayant été abandonnées à l'issue d'une confrontation avec les données géologiques.

*Remerciements* : Je remercie T. Aïfa pour la lecture critique et pour les corrections apportées au manuscrit.

## **Références**

- Aïfa T., Lefort J.P. et Guennoc P. (1999) «Anisotropy of Magnetic Susceptibility investigations of the St Malo dyke swarm (Brittany, France): Emplacement mechanism of doleritic intrusions». *Geophysical Journal International*, 139, p. 573-582.
- Aïfa T. et Lefort J.P. (2001) «Relationship between dip and magma flow in the St Malo dolerite dyke swarm (Brittany, France)». *Tectonophysics*, 331, p. 15-22.

- Bollo R. (1950) «Mesures gravimétriques en Bretagne. Les Mesures». Publications du Bureau de Recherches Géologiques et Géophysiques, Paris, 8, p.1-29.
- Chapman C.A. (1966) «Paucity of mafic ring-dykes-evidence for floored polymagmatic chambers». American Journal of Sciences. 264, p. 66-77.
- Ernst R.E. et Baragar W.R.A. (1992) «Evidence from magnetic fabric for the flow pattern of magma in the Mackenzie giant radiating dyke swarm». Nature, 356, p.512-513.
- Goguel J. (1950) «Mesures gravimétriques en Bretagne. Interprétation géologique». Publications du Bureau de Recherches Géologiques et Géophysiques, Paris, 8 p : 29-37.
- Horn B.K.P. et Bachman B.L. (1978) «Using synthetic images to register real images with surface models». Communications of the Association of Computer Machines, 21, p. 914-924.
- Jeager W.L., Keszthelyi L.P., Burr D.M., Mc Ewen A.S., Baker V.R., Miyamoto H. et Beyer R.A. (2003) «Ring dyke structures in the channeled scabland as analog for circular features in Athabasca valles», Lunar and Planets Sciences. XXXIV, p. 2045-2046.
- Jelinek V. (1978) «Statistical processing of anisotropy of magnetic susceptibility measured on groups specimens». Studia Geophysica et geodesia. 22, p.50-62.
- Kamb W.B. (1959) «Ice petrofabric observations from Blue Glacier, Washington, in relation to theory and experiments». Journal of Geophysical Researches. 64, p. 1891-1909.
- Lahaye Y., Blais S., Auvray B. et Ruffet G. (1995) «Le volcanisme fissural paléozoïque du domaine nord-armoricain». Bulletin de la Société Géologique de France, 166, 5,p. 601-612.
- Leblanc Y. (1979) «Datation de quelques dolérites du Nord du Massif Armoricain par la méthode K/Ar». DEA Rennes, 32p.
- Lefort J.P., Galdeano A. et Aïfa T. (1995) «Shaded relief image of a magnetic triple junction in the Saint-Malo dyke swarm (France)». Third International Dyke Conference, Jerusalem, p. 9.
- Lefort J.P. et Aïfa T. (1996) «Origine et structuration de l'essaim filonien nord armoricain». Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Paris, 323, p. 981-986.
- Leutwein F., Sonet J. et Zimmermann J.L. (1968) «Géochronologie et évolution orogénique précambrienne et hercynienne de la partie nord-est du Massif Armoricain». Mémoire des Sciences de la Terre, Nancy, 84 P.
- Myers J.S. (1975) «Cauldron subsidence and fluidization: mechanisms of intrusion of the coastal batholith of Peru into its own volcanic ejecta». Geological Society of America Bulletin, 86, p. 1209-1229.

- Perroud H., Auvray B., Bonhommet N., Macé J. et Van der Voo, R. (1986) «Paleomagnetism and K/Ar dating of Lower Carboniferous dolerite dykes from northern Brittany». *Geophysical Journal of the Royal Astronomy Society*, 87, p.143-154.
- Pilkington M. et Grieve R. A. F. (1992) «The Geophysical Signature of Terrestrial Impact Craters». *Reviews of Geophysics*, 30, p. 161-181.
- Plouff D. (1975) «Derivation of formulas and Fortran programs to compute gravity anomalies of prisms». US Geological Survey. Open file. 83, p.1-53.
- Régnauld S. (1984) «Notice explicative de la feuille de Broons. Carte géologique de la France a 1/50000». Bureau de Recherches Géologiques et Minières. 1<sup>ère</sup> edit., p.1-59.
- Smirnov V.N, Savva S.N., Glushkova, O.U.,Minyuk P.S. et Sharpton P. (2001) «Spherules From The Elgygytgyn Meteorite Crater El'gygytgyn Lake», Workshop Report, Amherst, University of Massachusetts, p.65
- Symes R.G., Clough C.T., Wright W.B., Maufe, H.B., Bailey E.B., Anderson E.M., Lee G.W., Lightfoot B., Richey J.E., et Wilson G. W. (1973) « Mull », *British Geological Survey*, Scotland, feuille 44, Echelle 1/50000, 3<sup>ème</sup> édition.