

Mise en évidence de corps d'origine cosmique probable au sein de la formation de Carnot (République Centrafricaine)

C. CENSIER^{1,2}, D. BOUKEKE^{3,4}, P. PERICHON¹ et Y. ALBOUY³

¹Centre Orstom de Bangui, B. P. 893, Bangui, République Centrafricaine

²Centre des Sciences de la Terre, Université de Bourgogne, Dijon, France

³Orstom, 72, Route d'Aulnay, 93140 Bondy, France

⁴Labo. de Physique de la Terre et des Planètes, Université Paris XI Orsay, Bat. 509, 91405 Orsay, France

(First received 11th February, 1992; revised form received 23rd April, 1992)

Résumé - Deux études réalisées indépendamment l'une de l'autre, ont permis de mettre en évidence, au sein de la Formation de Carnot, formation fluviatile mésozoïque, d'une part des sphérules magnétiques récupérées dans les résidus d'un forage (zone de Boyali), d'autre part une anomalie magnétique très localisée (sur 270 mètres de long) traduisant la présence d'un corps décimétrique à forte magnétisation rémanente (zone de Gambondo).

Ces deux éléments magnétiques ont une origine cosmique probable. Ils correspondent à des micrométéorites et à une météorite ayant atteint l'ouest de la République Centrafricaine entre l'Albien et le Maastrichtien.

The cosmic origin of magnetic spherules and of a decametric magnetic body found in the west of Central African Republic

Abstract - Two independent investigations, made on the Mesozoic fluvial Carnot Formation, yielded magnetic microspherules in borehole residues and a localized (270 m long) magnetic anomaly profile.

The spherules are ferrous with sometimes traces of Al, Ti and Mn; their morphology is similar to the morphology of cosmic spherules (with mosaic, octahedral, spongy or with "Astrakhan coat"-like fabrics).

The magnetic anomaly is related to a body buried at approximately 30-40 metres, i.e., in the Cretaceous Carnot Formation. This body could be modelled by a sphere or by an assemblage of dimensional polygons, with strong remanent magnetization. This indicates that the anomaly source has undergone a fusion and cooling process under the Cretaceous geomagnetic field. As there is no evidence of volcanic activity, this process is considered to be related to meteoritic falling.

The magnetic spherules and the source of magnetic anomaly correspond to micrometeorites and meteorites which fell in the west of Central African Republic between Albien and Maastrichtian times. However, without geochronological data, it is not possible to indicate if the two perturbations are the result of the same extraterrestrial event or of two different events.

INTRODUCTION

La présence de corps magnétiques à la surface du globe et leur origine extraterrestre possible fascine les chercheurs depuis plus d'un siècle. Des microbilles d'origine cosmique probable furent pour la première fois signalées par Nordenskiöld, en 1874. Il s'agissait de sphérules trouvées dans de la neige et de la glace subactuelle lors d'une expédition au pôle Nord. De tels éléments devaient être mis en évidence dans des formations géologiques anciennes dès 1878 (Meunier et Tissandier, 1878). Depuis, les découvertes de sphérules extraterrestres dans les formations géologiques anciennes ont essentiellement été réalisées dans des formations d'origine marine (Pettersson et Rotschi, 1950 ;

Laevastu et Mellis, 1955 ; Manecki et Skowronski, 1970 ; Castellarin *et al.*, 1971, Lowe et Byerly, 1986). Beaucoup plus rares et aléatoires sont les découvertes de ces éléments dans des formations géologiques d'origine continentale (Bellion *et al.*, 1991).

Deux études, réalisées indépendamment l'une de l'autre, ont permis de mettre en évidence des corps d'origine cosmique probable au sein de la Formation de Carnot, formation fluviatile d'âge crétacé, située dans l'ouest et le sud-ouest de la République Centrafricaine (Fig. 1)

- La récupération de résidus de forage grésoconglomératiques en vue d'analyses sédimentologiques a permis la découverte de sphérules magnétiques.

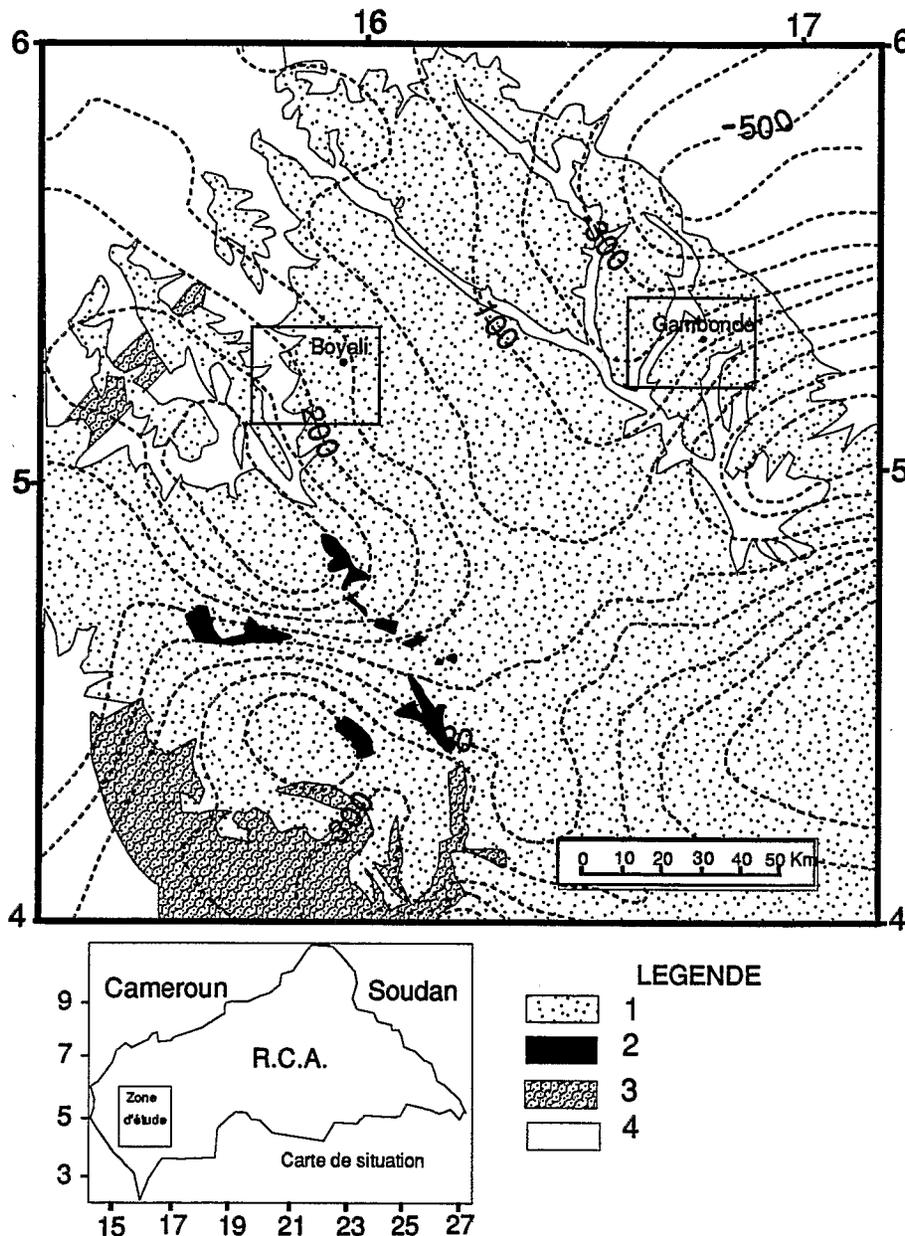


Fig. 1. Contexte géologique et carte d'anomalie magnétique de l'ouest de la République de Centrafrique. Formations de couverture: 1 - Formation de Carnot (Crétacé), 2 - Formation glaciaire de la Mambéré (Paléozoïque), 3 - Complexe Schisto-quartzitique (précambrien), 4 - Complexe Granito-gneissique (Précambrien).

Fig. 1. Geological and magnetic anomalies map of W of central African Republic. Cover Formations :
 1 - Carnot detritic Formation (Cretaceous), 2 - Glacial Mambere Formation (Paleozoic),
 3 - Schisto-quartzitic Complex (Precambrian), 4 - Granito-gneissic Complex (Precambrian).

- Les itinéraires effectués à travers le territoire centrafricain dans le but de mesurer le champ magnétique et ses variations ont permis de détecter une anomalie magnétique très localisée traduisant la présence d'un corps magnétique au sein de la Formation de Carnot.

LES SPHERULES MAGNETIQUES DU FORAGE DE BOYALI

Localisation et context géologique

La réalisation d'un forage pour la recherche

d'eau dans le village de Boyali (Lat. 5° 17' 22" N - Long. 15° 58' 30" E) a été l'occasion d'échantillonner la Formation de Carnot, formation à dominante gréseuse, d'origine fluviale, et d'âge albien à Maastrichtien (Censier, 1989, 1990a) (Figs 1 et 2).

Les échantillons de grès ont été prélevés entre les profondeurs de 44 et 61 mètres. Ce matériel appartient à la partie supérieure de la Formation de Carnot; il est situé entre les cotes + 249 et + 266 mètres par rapport au mur de la formation (Figs 1 et 2).

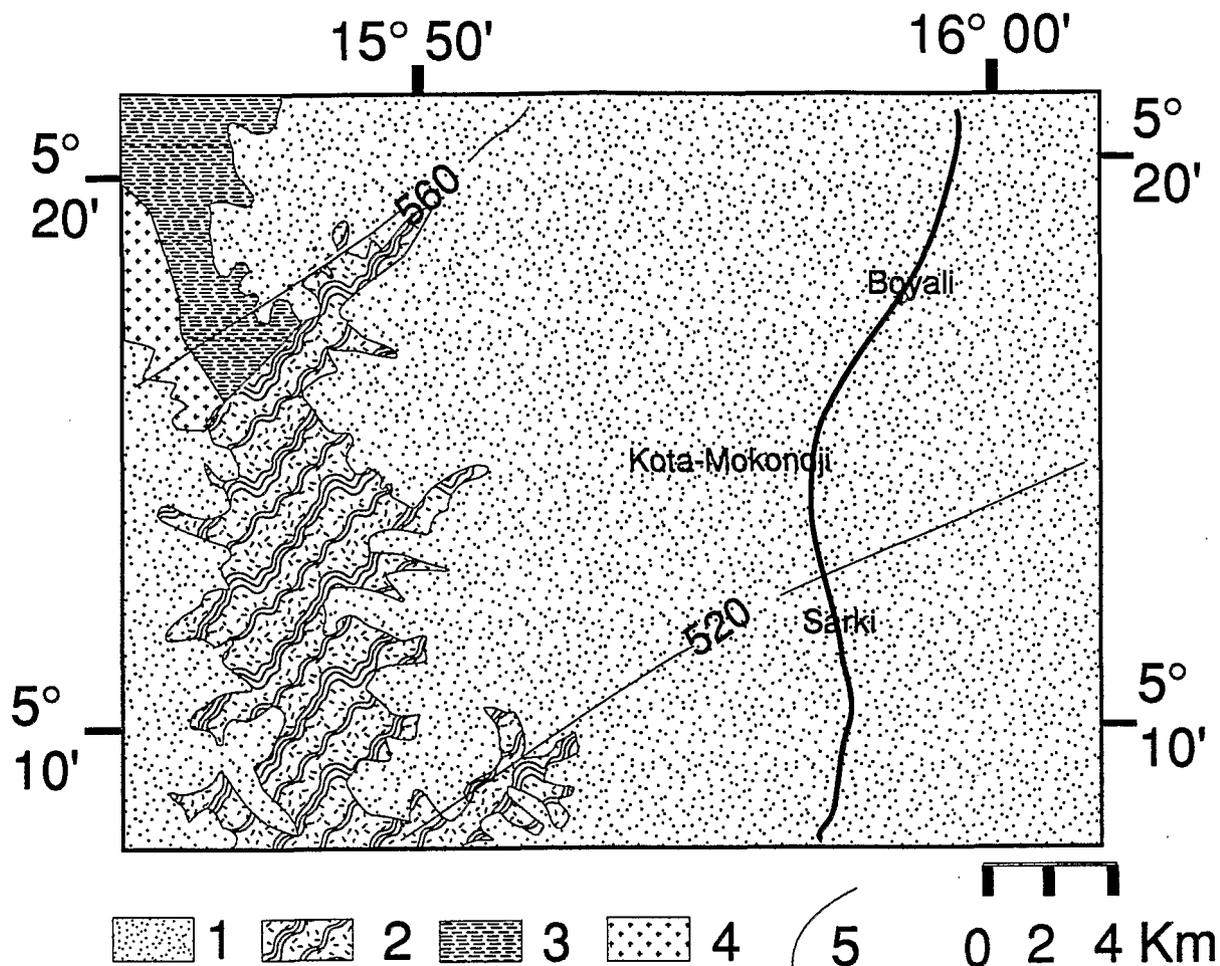


Fig. 2. Contexte géologique de la région de Boyali. 1 - Formation de Carnot, 2 - gneiss, 3 - migmatites, 4 - granites hétérogènes, 5 - isobathe du mur de la Formation de Carnot.

Fig. 2. Geology of the Boyali area. 1 - Carnot Formation, 2 - gneiss, 3 - migmatites, 4 - heterogeneous granites, 5 - isobath of the floor of the Carnot Formation.

Les billes de magnétite ont été récupérées dans la fraction lourde des échantillons après séparation au bromoforme ($d = 2,89$) et séparation magnétique.

Description

Les analyses ont été exécutées sur les fractions granulométriques FI (0,160 mm - 0,400 mm) et FII (0,080 mm - 0,160 mm), fractions classiquement retenues pour l'étude des minéraux lourds.

Les analyses pondérales montrent que les billes ne sont abondantes que dans un seul niveau gréseux (Fig. 3) ; la présence des quelques billes dans les échantillons BLI04 et BLI05 est probablement le résultat d'une pollution par le niveau porteur susjacent puisque le forage a été réalisé à la tarière.

Les cortèges minéralogiques des quatre échantillons sont voisins (les comptages ont été réalisés sur la fraction FII) : zircon (45 à 50 %) ; tourmaline et rutile (24 à 26 %) ; staurotide (3 à 5 %) ; zircon hyacinthe, disthène, sphène (<1 %).

Morphologie

Les principales formes rencontrées rappellent celles décrites par Cita *et al.* (1979) et Zbik (1984). On distingue par ordre décroissant d'importance :

- **les sphérules à structure en mosaïque.** Elles sont formées par la juxtaposition de plaques polygonales aux contours et aux dimensions variables ; la surface des plaques présente assez souvent un aspect strié (Pl. 1 et 2) ;

- **les sphérules à structure octaédrique.** Elles présentent tout un assemblage de cristaux octaédriques de magnétite (Pl. 3 et 4). Quelquefois, ces deux premiers types de structure peuvent être observés sur une même sphérule ;

- **les sphérules à structure spongieuse.** Cette structure s'observe soit sur l'ensemble de la bille qui présente alors un aspect altéré (Pl. 7), soit sur certains polygones de sphérules à structure en mosaïque ;

- **les sphérules en manteau d'Astrakhan.** Elles sont caractérisées par les alignements réguliers de petites bosselures globuleuses micrométriques.

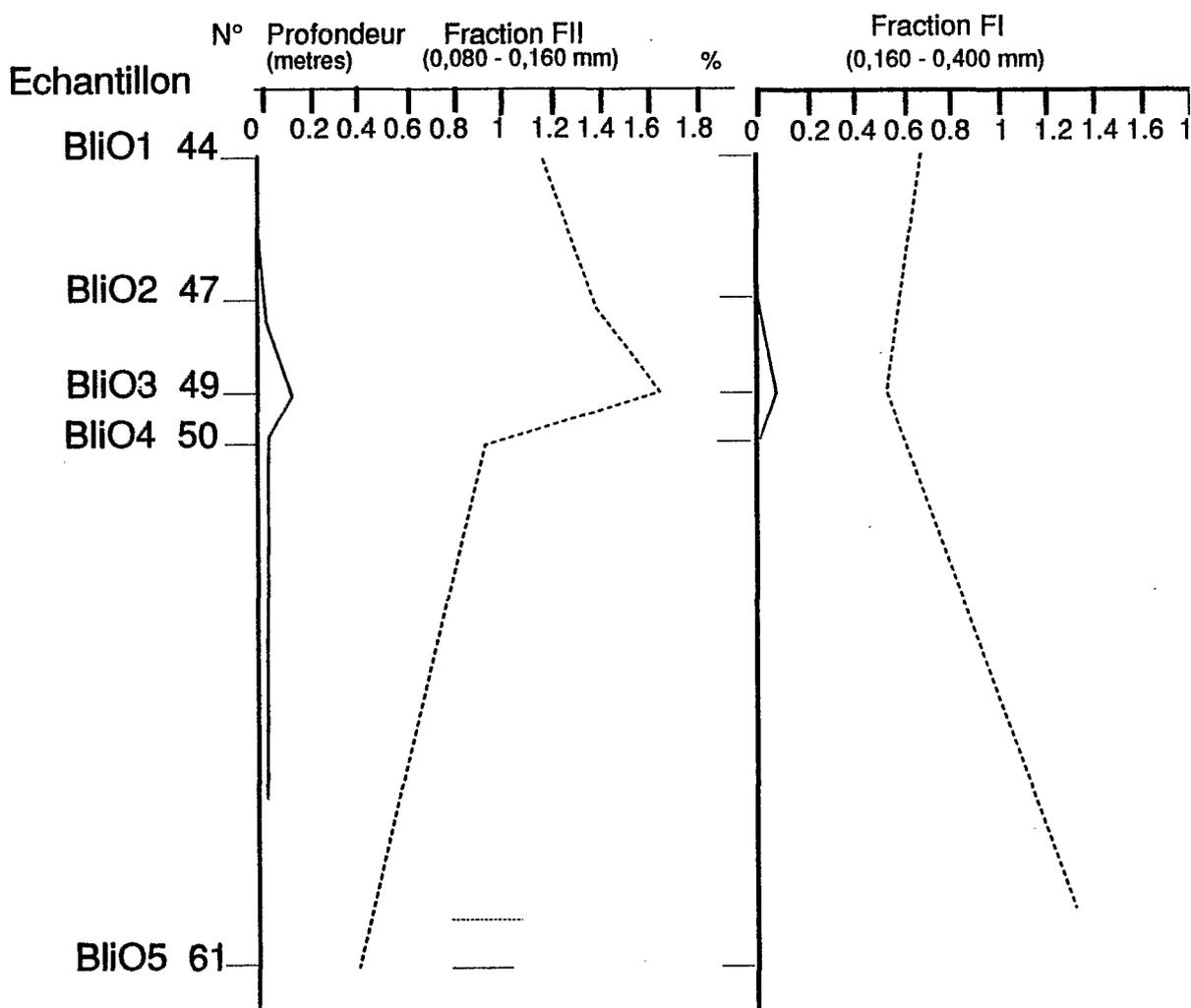


Fig. 3. Quantité de sphérules magnétiques recueillies par niveau de prélèvement de résidus de forage. Pourcentage pondéral de la fraction lourde, $d > 2,89$ (ligne continue). Pourcentage pondéral de sphérules magnétiques (ligne en tirets).

Fig. 3. Quantity of magnetic spherules obtained in the cuttings. Percentage of the heavy fraction, $d > 2.89$ (solid line). Percentage of magnetic spherules (dashed line).

Chaque bosselure correspond à un petit cristal avec une apparente structure octaédrique (Pl. 5 et 6) ;

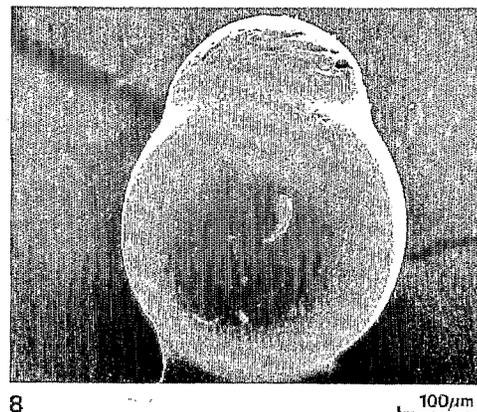
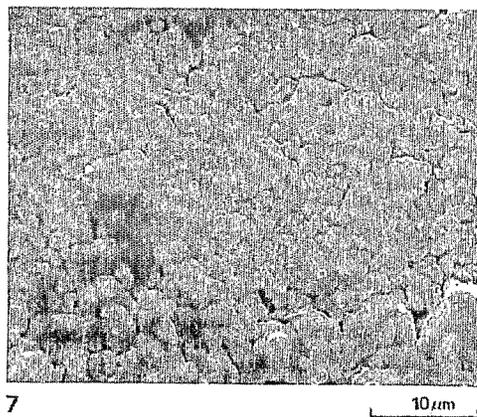
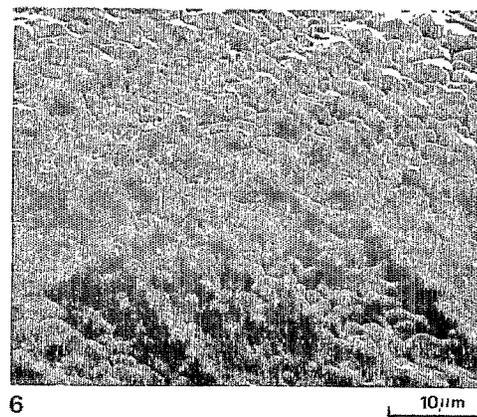
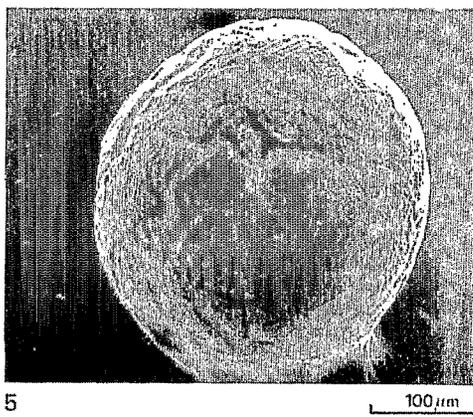
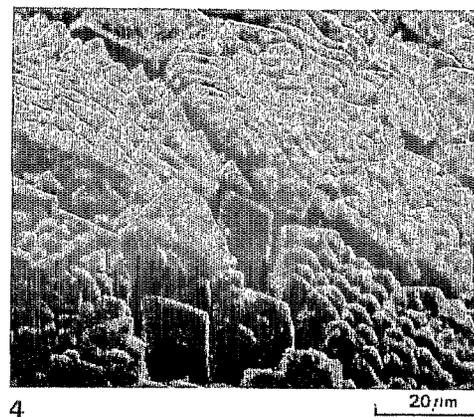
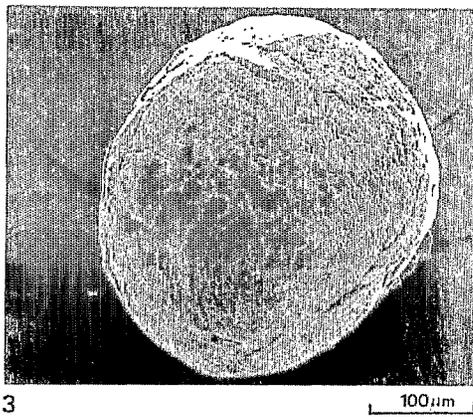
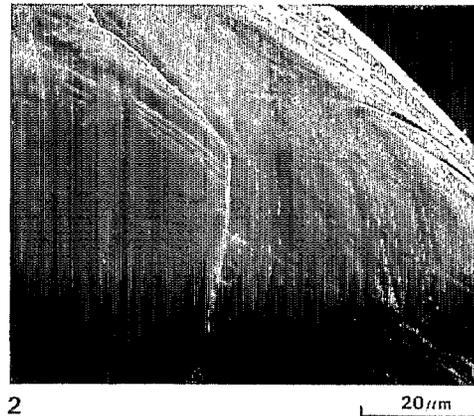
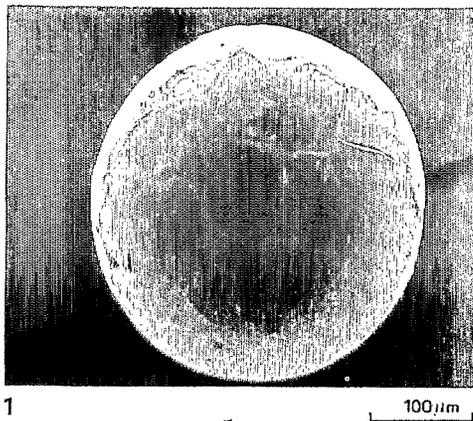
- **les sphérules à surface lisse.** Leur forme générale est ovoïde ou "en poire" (Pl. 8). Au très fort grossissement, leur surface est couverte de globules inframicrométriques alignés plus ou moins régulièrement. L'aspect des sphérules en manteau d'Astrakhan semble être le résultat d'une augmentation de la taille de ces globules ; des formes de transition ont d'ailleurs été observées.

Composition chimique

Les analyses ont été réalisées à la microsonde électronique. En très grande majorité, les billes sont ferreuses (100 % de fer) ; c'est le cas de toutes les sphérules à structure en mosaïque, excepté un seul échantillon sur lequel des traces d'aluminium ont été relevées. Des traces de titane et d'aluminium ont été décelées sur des sphérules à structure octaédrique et spongieuse. Les sphérules en manteau d'Astrakhan et à surface lisse contiennent

PLANCHE 1 - Sphérule à structure en mosaïque. Vue d'ensemble. 2 - Sphérule à structure en mosaïque. Détail de l'aspect strié de la surface des plaques des sphérules. 3 - Sphérule à structure octaédrique. Vue d'ensemble. 4 - Sphérule à structure octaédrique. Détail de l'assemblage des cristaux octaédriques. 5 - Sphérule en manteau d'Astrakhan. Vue d'ensemble. 6 - Sphérule en manteau d'Astrakhan. Alignements des bosselures globuleuses micrométriques. 7 - Sphérule à structure spongieuse. 8 - Sphérule à surface lisse et en forme de poire.

I - Spherule with mosaic fabric - general view. 2 - Spherule with mosaic fabric - detail of the striated aspect of the plates. 3 - Spherule with octahedral fabric - general view. 4 - Spherule with octahedral fabric - detail of the assemblage of crystals. 5 - Astrakhan-coated spherule - general view. 6 - Astrakha-coated spherule - rows of globular micrometric knots. 7 - Spherule with spongy fabric. 8 - pear-shaped spherule with a smooth surface.



nent assez régulièrement des traces de titane et de manganèse. Le nickel n'a été décelé sur aucune des 50 billes analysées.

Structure interne

Des sections polies ont révélé la présence assez fréquente d'une cavité à l'intérieur des sphérules. Cette cavité, souvent en position excentrique, est quelquefois directement visible sur des billes cassées.

Origine

Dans la mesure où les grès contenant les sphérules ont été prélevés à 49 mètres de profondeur, une origine par pollution industrielle est exclue. Toutefois, on peut se demander si ces billes n'ont pas été produites par les travaux de forage. Schildwoski et Ritzkowski (1972) ont constaté que dans 75 % des cas, de telles billes artificielles possèdent ou bien un noyau de fer ou bien des inclusions finement réparties dans toute la bille : les sphérules étudiées n'ont pas cet aspect. De plus, alors que le forage a été exécuté entièrement à la tarière, les billes ne sont abondantes que dans un seul niveau gréseux. Enfin, l'analyse de résidus gréseux de forages réalisés en d'autres endroits, dans les mêmes conditions, au sein de la Formation de Carnot, n'a pas révélé la présence de billes magnétiques (Censier, 1989).

Les sphérules en liaison avec une activité volcanique sont très généralement riches en aluminium (20 % d'Al dans 90 % des cas, Hodge et Wright, 1964) et en titane (El Goresy, 1968). L'aluminium et le titane n'ont été décelés qu'à l'état de traces dans quelques sphérules du forage de Boyali. L'hypothèse d'une origine volcanique ne peut être retenue même si Petterson et Rotschi (1950) considèrent que l'absence de nickel dans les sphérules est un argument en faveur de cette origine.

De plus, à cette époque, le seul volcanisme connu en Afrique Centrale est en liaison avec l'ouverture de l'Atlantique sud. Le caractère sous-marin de cette activité au niveau du rift médio-atlantique exclut toute émission de billes dans l'atmosphère ; le volcanisme explosif de type kimberlitique, situé dans le Sud du Zaïre et en Angola, est beaucoup trop distal ; de plus, aucune sphérule en liaison avec cette activité volcanique n'a été découverte dans les sédiments détritiques pénécontemporains situés à proximité des intrusions kimberlitiques.

Les sphérules du flux permanent de poussières cosmiques sont très généralement de type fer-nickel. Si la présence de nickel est une preuve de l'origine extraterrestre (Schmidt et Keil, 1966), son absence n'exclut pas cette origine.

Des sphérules ferreuses de même aspect que celles du forage de Boyali et dont l'origine extrater-

restre est admise, ont été décrites par de nombreux auteurs (Schmidt et Keil, 1966; Cavaretta *et al.*, 1972; Carusi *et al.*, 1972; Schidlowski et Ritzkowski, 1972; Cita *et al.*, 1975 ; Tourenq, 1981; Bellion *et al.*, 1991).

En se référant aux travaux de Fechtig et Utech (1964) sur la mobilité du nickel lors du refroidissement d'un fragment de météorite fer-nickel, et aux études de Rietmeijer et Mackinnon (1984) sur la météorite de Bjurbole, l'absence de nickel dans les sphérules pourrait être due à plusieurs causes: la présence de cavités dans les sphérules pourrait être la traduction de la disparition du noyau de nickel au cours du processus d'altération dans les sédiments (Fechtig et Utech, 1964) ou résulter d'une oxydation complète des sphérules durant la rentrée dans l'atmosphère (Del Monte *et al.*, 1974).

Comme il est admis que l'apport cosmique a été constant durant les temps géologiques (Crozier, 1960; Mutch, 1966; Mutch et Garrison, 1967) sauf durant l'ère quaternaire où il semble augmenter (Funicello et Fulehignoni, 1969), la concentration de sphérules magnétiques dans un niveau gréseux de la Formation de Carnot d'âge crétacé, pourrait être la conséquence d'un événement extraterrestre instantané à l'échelle des temps géologiques.

Malgré ce faisceau d'arguments convergents, un doute subsiste quand même sur l'origine cosmique puisque l'iridium, qui est le marqueur le plus sûr de la matière extraterrestre (Jéhanno *et al.*, 1989), n'a pu être dosé.

L'ANOMALIE MAGNETIQUE DE GAMBONDO

La mesure du champ magnétique sur l'ensemble du territoire centrafricain a permis de mettre en évidence une anomalie très localisée, immédiatement à l'ouest du village de Gambondo. Cette zone est située sur la Formation de Carnot, dont l'épaisseur est comprise ici entre 120 et 125 mètres (Figs 1 et 4).

Définition de l'anomalie magnétique

L'anomalie magnétique A_i en chaque point de mesure i est la différence entre le champ mesuré ($F_{m,i}$) et le champ normal théorique ($F_{th,i}$) calculé à la latitude, la longitude et l'altitude de la station de mesure, auquel s'ajoutent les variations temporelles $f_{t,i}$ entre les instants des mesures successives. Ceci s'exprime par la relation:

$$A_i = F_{m,i} - (F_{th,i} + f_{t,i}) \quad (1)$$

La longueur du profil n'étant que de 270 mètres, les coordonnées géographiques de tous les points sont prises comme étant celles du village ~ Gambondo, soit 5,315° de latitude nord et 16,779° de longitude est. L'altitude moyenne étant de 760

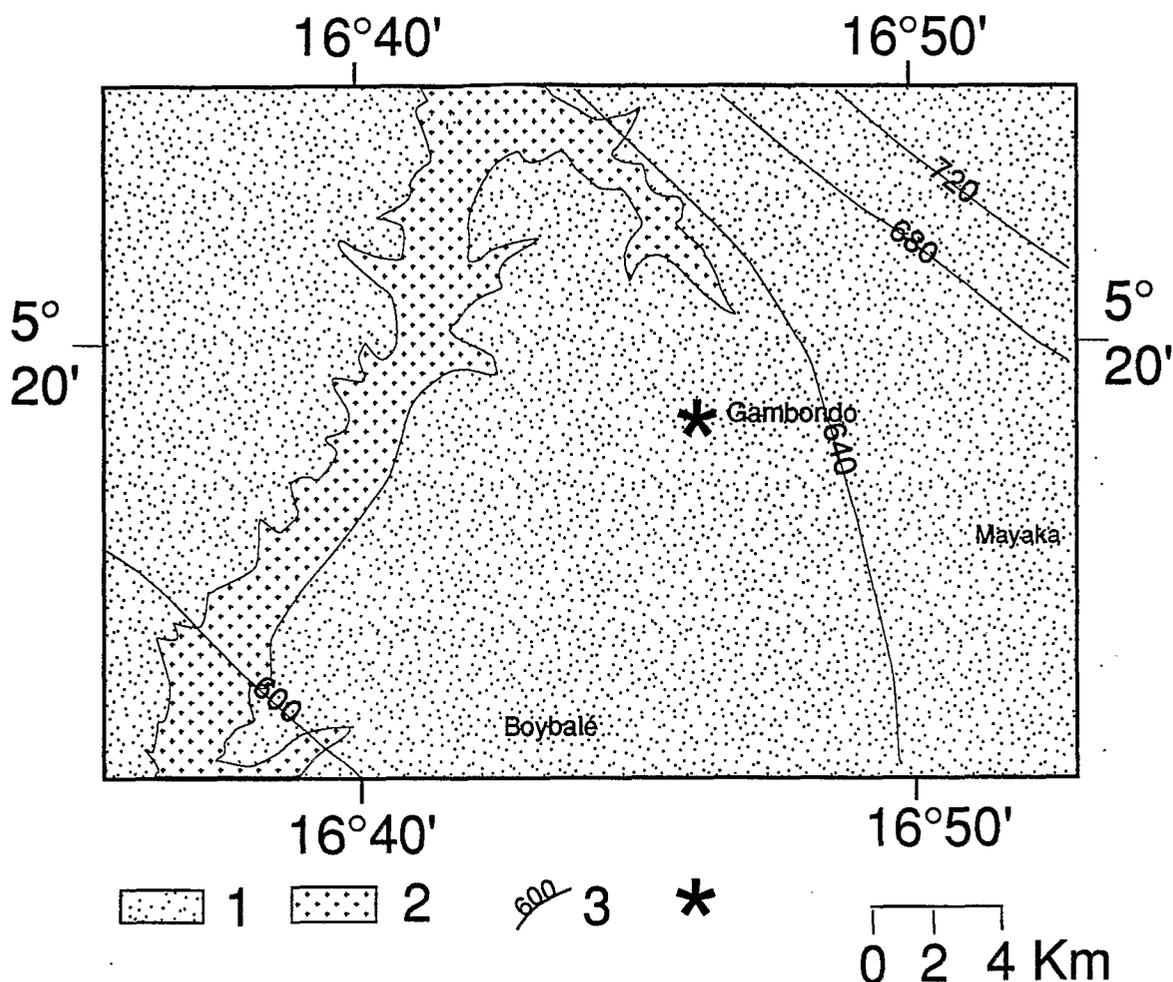


Fig. 4. Contexte géologique de la région de Gambondo. 1 - Formation de Carnot, 2 - granites heterogènes, 3 - courbe isobathe de la surface de base de la Formation de Carnot - *localisation de l'anomalie magnétique.

Fig. 4 . Geology of the Gambondo area. 1 - carnot Formation, 2 - heterogeneous granites, 3 - isobath of the floor of the Carnot Formation - * location of the magnetic anomaly.

mètres, la valeur du champ géomagnétique (I.G.R.F.) calculée à la date des mesures, le 11 Novembre 1988, est de 33597 nT, son inclinaison est de -14.5° et sa déclinaison de -2.2° . Les valeurs observées à l'observatoire magnétique de Bangui (ORSTOM) entre le début et la fin des mesures sont de 33387 et 33396 nT, soit une augmentation de 9 nT. Toutes ces données sont utilisées dans la formule (1) pour déterminer l'anomalie du champ total sur le profil de Gambondo (Fig. 5a).

À l'échelle régionale les anomalies du champ total ont des longueurs d'onde de plusieurs dizaines de kilomètres (Fig. 1). Dans la zone d'affleurement de la Formation de Carnot, on trouve deux anomalies orientées NW-SE. Celle localisée au nord est positive avec une amplitude de +600 nT, elle est bordée au sud par une anomalie négative dont l'amplitude dépasse -800 nT. Ce couple d'anomalies est donc très certainement associé à des structures du socle des formations crétacées. Dans la région de Gambondo située plus à l'est, se superpose un autre couple d'anomalies du champ

total (-600, +300 nT) anomalies extérieures, pour l'essentiel à la zone d'affleurement de la Formation de Carnot. À Gambondo, ce champ vaut un peu plus de 100 nT. Cette valeur est soustraite des valeurs d'anomalie du champ total du profil afin d'obtenir l'anomalie résiduelle (Fig. 5b), qui elle, exprime uniquement l'effet de la source magnétique locale. Cette source est superficielle; en effet, l'anomalie est de très faibles dimensions (60 mètres entre les deux extrêmes) et son gradient est très élevé (5.5 nT/mètre).

Interprétation

Trois méthodes sont utilisées pour estimer la profondeur du corps perturbateur. La méthode des tangentes de Peters (1949) donne des valeurs comprises entre 15 et 23 m; avec une autre méthode des tangentes, celle de Nettleton (1949), la profondeur varie de 21 à 39 m. La troisième estimation utilise l'analyse spectrale (Spector et Grant, 1970; Gerard et Griveau, 1972). Cette

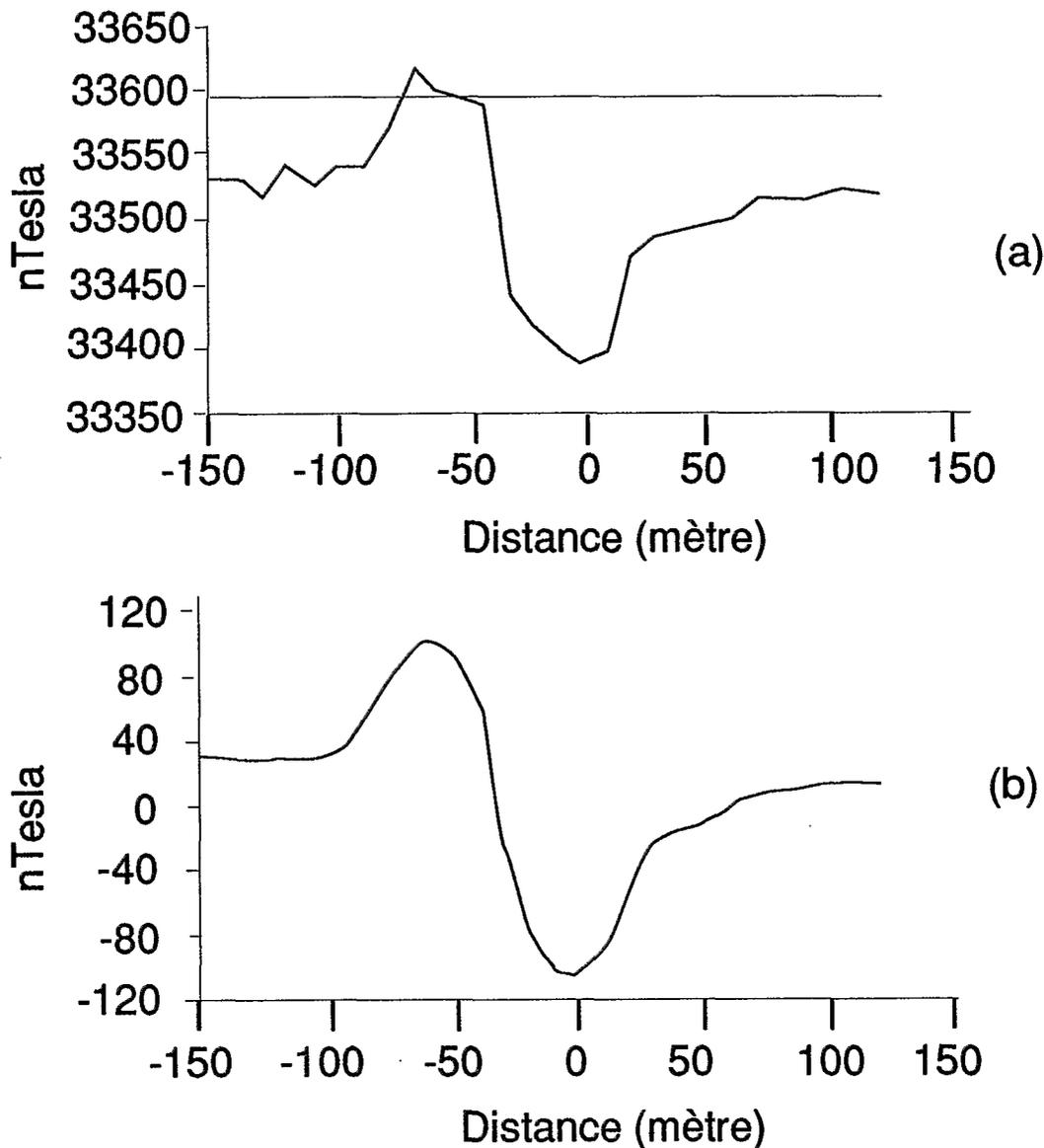


Fig. 5. Profil magnétique de Gambondo. (a) Courbe des valeurs mesurées du champ magnétique (la ligne horizontale $Y = 33597$ nT correspond à la valeur du champ géomagnétique). (b) Anomalie résiduelle.

Fig. 5. Magnetic profile anomaly. (a) Measured (horizontal line $Y = 33597$ nT = value of geomagnetic field) (b) Residual anomaly.

méthode, plus objective que les précédentes, montre une interface à 30 m (Fig. 6). Toutes ces valeurs montrent que la source est à faible profondeur (moins de 40 m) dans la Formation de Carnot épaisse à cet endroit de 120 m (Censier, 1989).

Pour modéliser une source magnétique, il faut avoir, d'une part une évaluation de sa profondeur, d'autre part quelques idées sur sa forme géométrique et son contraste de susceptibilité magnétique, lesquelles sont liées directement aux hypothèses de départ sur la géologie de la source de l'anomalie mesurée.

Les anomalies magnétiques de courtes longueurs d'onde ne sont pas inconnues au dessus des formations détritiques récentes ou anciennes. Schwarz et Wright (1988) ont mis en évidence de telles anomalies au dessus des placers des rivières au

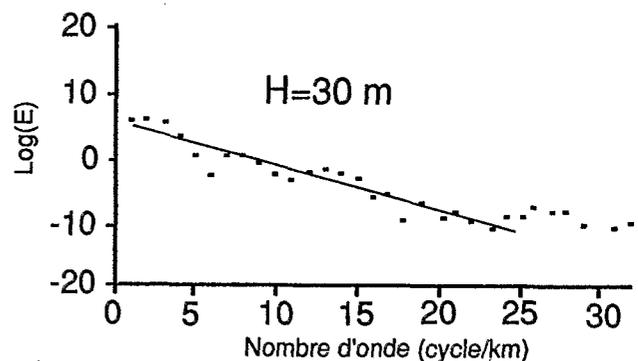


Fig. 6. Spectre d'énergie de l'anomalie de Gambondo ($h=30$ m)

Fig. 6. Spectral analysis on profile anomaly (depth = 30 m)

Canada. Par ailleurs ces auteurs signalent des anomalies similaires liées à des placers précambriens. Elles sont dues au dépôt de la magnétite qui accompagne d'autres minéraux lourds. Elles constituent alors des guides pour la prospection minière des placers pouvant contenir des minéraux d'intérêt économique.

La Formation de Carnot, qui est d'origine fluviale, a fait récemment l'objet d'études importantes (Censier, 1989, 1990b). De ces travaux, il ressort que les minéraux magnétiques ne constituent qu'une infime partie du matériel détritique lourd. De plus, ils sont disséminés de façon homogène dans l'ensemble de la série, de telle sorte que leur distribution générale ne peut être à l'origine d'une anomalie magnétique.

Aussi, une autre origine, celle dite de la "pollution météoritique" est envisageable. Dans ce cas, l'anomalie traduirait la présence, au sein de la Formation de Carnot, d'un corps magnétique d'origine cosmique qui se serait mis en place à l'époque de la sédimentation de la formation détritique, c'est-à-dire pendant le Crétacé. Cette dernière hypothèse est confortée par la présence des billes magnétiques, localisées dans des niveaux équivalents et qui sont décrites dans la première partie de cet article.

L'origine météoritique conduit à envisager d'abord, pour un corps de dimensions probablement décamétriques, une forme sphérique. Mais cette forme acquise par ablation et fusion dans l'atmosphère (Rietmeijer et Mackinnon, 1972) n'est pas toujours conservée après le choc du contact avec la terre; la géométrie du bloc ou des éclats peut alors être quelconque. Dans la même hypothèse, la susceptibilité magnétique est probablement supérieure ou égale à 0.02 u.e.m., c'est-à-dire qu'elle est comprise dans l'intervalle des valeurs de susceptibilités fortes caractéristiques des minéraux (magnétite et autres minéraux de fer) qui constituent l'essentiel des météorites (Nagata *et al.*, 1976).

Comme aucune hypothèse sûre ne peut être faite sur la forme de la source, deux modèles vont être utilisés pour rendre compte de l'anomalie observée: une sphère et un modèle en polygones bidimensionnels.

Le modèle sphérique: Les programmes de calcul sont basés sur les formules établies par Radhakrishna (1974) et Rao *et al.* (1976). La sphère, d'un rayon de 5 m, est placée à 30 m de profondeur. L'anomalie du champ total est calculée sur une surface de 300 x 300 (Fig. 6a,b) mètres au noeuds de mailles carrés de 10 mètres de côté. Le centre de la sphère coïncide avec le centre de la grille. Au départ, la valeur de la magnétisation est fixée à 1 nT. Les profils W-E sont alors représentés en amplitudes normalisées puis comparés avec la

courbe expérimentale également normalisée. Si on considère une magnétisation uniquement induite (contenue dans le plan du méridien magnétique local) aucun profil W-E ne permet d'ajuster la courbe expérimentale (Fig. 7a). Aussi les paramètres de la magnétisation (inclinaison, déclinaison) qui permettent la mise en coïncidence sont recherchés par variations et essais successifs. Ainsi lorsque l'inclinaison est de 176° et la déclinaison de +80°, on trouve un profil W-E qui ajuste l'anomalie observée. L'intensité de la magnétisation est alors de 0.33 u.e.m. Ce profil est situé à 40 m au sud de l'axe W-E (axe Y du repère cartésien) passant par le centre de la sphère (Figs 7b,7c).

Ce modèle montre l'influence prépondérante d'une magnétisation rémanente, qui vient renforcer l'hypothèse d'un corps d'origine météoritique.

Le modèle polygonal : La modélisation a été faite avec le programme interactif Hypermag (Saltus and Blakely, 1984). Le modèle obtenu est représenté à la figure 8. Les magnétisations des corps 1 et 2 sont respectivement de 0.06 u.e.m et 0.035 u.e.m, leurs inclinaisons sont -14° et +10°. Ce modèle n'est certainement pas le seul qui puisse ajuster l'anomalie observée. Cependant, les tentatives faites en supposant une magnétisation uniquement induite n'ont pas permis de trouver un modèle cohérent avec les données mesurées. Pour cela, il a fallu introduire une magnétisation rémanente, comme pour le modèle sphérique.

DISCUSSION

Les caractéristiques de l'anomalie magnétique de Gambondo et les valeurs de profondeurs déterminées par plusieurs méthodes suggèrent que la source est superficielle (entre 15 et 30 m). A cette profondeur, elle se situe dans la Formation détritique de Carnot. Comme aucune hypothèse géologique (Censier, 1989, 1990b) ne laisse supposer la présence dans cette formation de matériel magnétique susceptible de créer une anomalie telle que celle mesurée à Gambondo, nous devons supposer un apport extérieur.

La modélisation directe a montré que le corps perturbateur, de taille décamétrique, peut aussi bien être une sphère qu'un assemblage de polygones bidimensionnels. Elle a surtout permis la mise en évidence d'un important magnétisme rémanent. Ceci permet d'avancer que la source est passée par un stade de fusion, puis par une autre de refroidissement, ce qui a permis de fixer le champ magnétique de l'époque. Dans la mesure où on ne peut évoquer un volcanisme crétacé (voir plus haut) responsable de projections, la seule hypothèse possible pour expliquer la présence du corps magnétique de Gambondo est un apport météoritique.

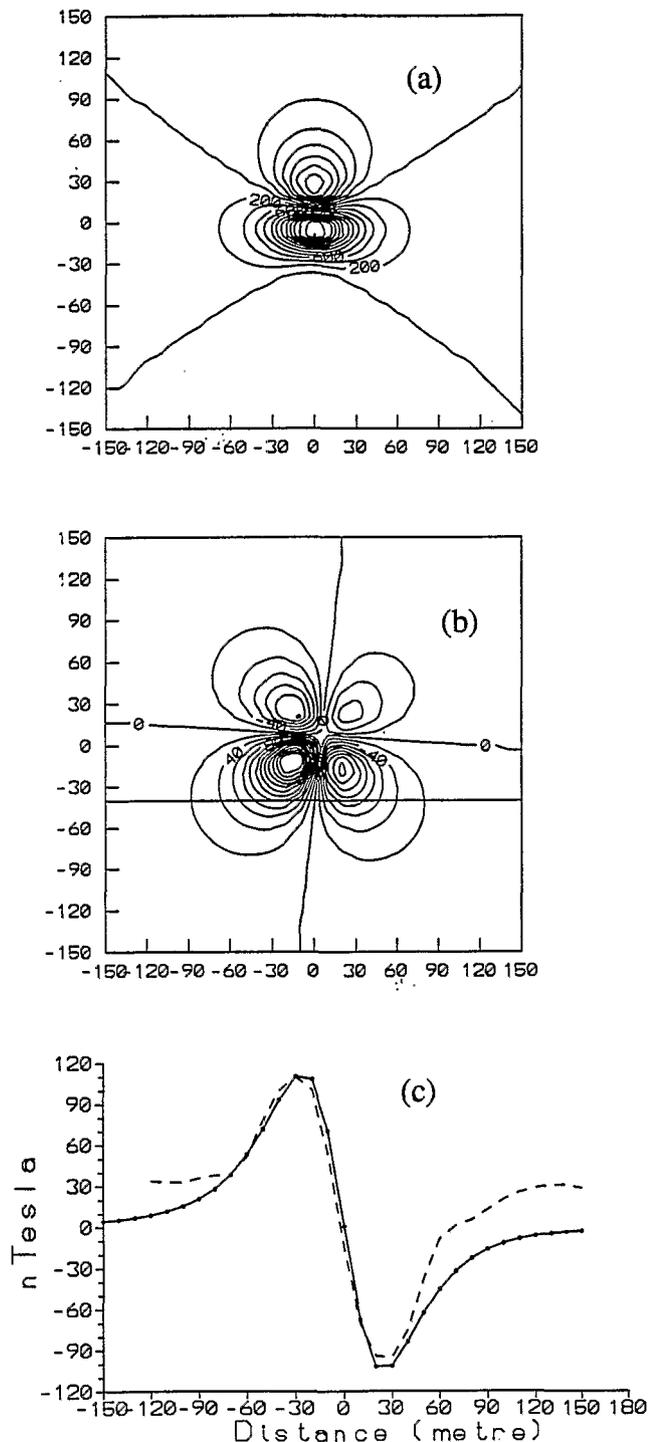


Fig. 7. Anomalies du champ total du modèle sphérique (a): Magnétisation uniquement induite (incl = -14.5° , decli = -2.2°). (b): Magnétisation rémanente + magnétisation induite (incl = 176° , decli = 80°). La ligne droite $y = -40$ correspond au profil W-E qui ajuste les valeurs mesurées. (c): Profil observé (tiretés) et profil calculé (ligne continue).

Fig. 7. Total magnetic anomaly of the spherical model (a): induced magnetization only (incl = -14.5° , decli = -2.2°). (b): induced + remanent magnetizations (incl = 176° , decli = 80°). (c): Measured residual profile anomaly (dashed), calculated profile (solid). The W-E profile which adjusts measured anomaly lies south ($y = -40$ m) of the center.

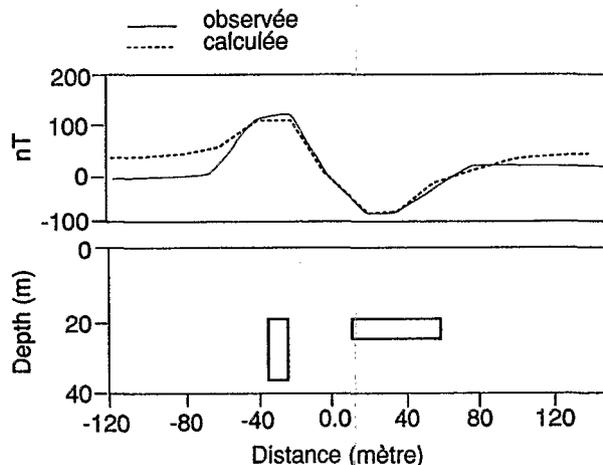


Fig. 8. Exemple de modèle 2D avec deux corps polygonaux.

Fig. 8. Example of 2D model with 2 polygonal bodies

CONCLUSION

Ces études, sédimentologiques d'une part, et géophysiques d'autre part, ont permis de mettre en évidence deux types de perturbations syn-sédimentaires au sein de la Formation de Carnot: la première est liée à la présence de sphérules magnétiques, la seconde correspond à l'existence d'un corps décimétrique à forte magnétisation rémanente.

Les analyses faites renforcent les arguments pour appuyer l'hypothèse d'une origine cosmique de ces deux perturbations. Elles correspondraient à des venues des micromillimètres météoritiques et d'une météorite, dans l'ouest de la R.C.A., entre l'Albien et le Maastrichtien, période de dépôt de la Formation de Carnot (Censier 1990 a).

Le matériel grésoconglomératique de cette formation qui peut atteindre 350 mètres de puissance, a évolué principalement dans des environnements fluviaux à réseaux anastomosés dont le sens général d'écoulement est dirigé vers le NNW (Censier, 1989). Etant donné la constance de la nature du matériel détritique érodé et des conditions dynamiques fluviales, il n'est pas possible d'établir de coupure lithostratigraphique au sein de cette formation (Censier, 1989, 1990 b). De plus, la forme en gouttière du milieu de sédimentation, orientée NNW-SSE, rend toute corrélation lithostratigraphique impossible. Le niveau contenant les sphérules magnétiques de Boyali est situé à la cote de +250 mètres par rapport au mur de la formation alors que l'anomalie de Gambondo est à la côte approximative de +100 mètres. Cependant, comme la région de Boyali est située dans l'axe central du milieu de sédimentation et que celle de Gambondo se trouve en périphérie, aucun argument ne permet de situer chronologiquement les deux perturbations.

Bien que la venue d'une météorite peut s'accompagner de la formation de sphérules lors de son passage dans l'atmosphère (Rietmeijer et Mackinnon, 1984; Manecki et Skowronski, 1970), il est impossible de préciser, faute d'argument géochronologique, si les deux perturbations de Boyali et de Gambondo résultent d'un même événement ou de deux événements diachroniques.

REFERENCES

- Bellion, Y., Guillou, J. J. and Hebrard, L. 1991. Paleogene karstification and concentration of iron micrometeorites (Horst of Ndiass, Cap Vert, Senegal), *Journ. of Afr. Earth Sci.* **12**, 237-246.
- Carusi, A., Coradini, A. and Fulchignoni, M. 1972. Genesis of the structures of the black magnetic spherules. *Per. di Mineralogia* **41** (2), 363-371.
- Castellarin, A., Del Monte, M. and Frascari, F. 1971. Cosmic fallout in the "hard grounds" of the Venetian region (Southern Alps). *Giornale di Geol. Ann. del Museo geol. di Bologna. Ser. 2a*, **XXXIX**, 3-345.
- Cavarreta, G., Funicello, R., Taddeucci A. and Trigila, R. 1972. Magnetic spherules in the Gulf de Cagliari sediments. *Per. di Mineralogia* **41**(2), 417-443.
- Censier, C. 1989. Dynamique sédimentaire d'un système fluviatile diamantifère mésozoïque - La formation de Carnot (République Centrafricaine). Thèse de Doctorat. Université de Bourgogne 591 p., 130 fig., 48 tabl., 29 pl. phot., 1 carte hors texte.
- Censier C. 1990a. Détermination d'un âge albien à maestrichtien de la Formation de Carnot (République Centrafricaine) d'après les données paléoclimatiques et géodynamiques sur le continent africain. 13ème R.S.T., Grenoble, 2-4 Avril 1990, *Soc. Géol. Fr. édit.*, Paris, p. 28.
- Censier C. 1990b. Characteristics of Mesozoic fluviolacustrine formations of the western Central African Republic (Carnot Sandstones) by means of mineralogical and exoscopic analyses of detrital material. *Journ Afr. Earth Sci.* **10**, n° 1/2, 385-398.
- Cita, M. B., Bigloggero, B. and Ferrario, A. 1975. Micrometeorites in the "Glacial" Pleistocene of the Mediterranean Ridge. *Boll. Soc. geol. It.* **94**, 877-887.
- Crozier, W. D. 1960. Black magnetic spherules in sediments. *Journ. Geophys. Res.* **65**, 2971-2977.
- Del Monte, M., Nanni, T. and Tagliazucca, M. 1974. Origin of the cavities in black magnetic spherules. *Journ. Geophys. Res.* **79**, n° 29, 4375-4378.
- El Goresy, A. 1968. Electron microprobe analysis and ore microscopic study of magnetic spherules and grains collected from the Greenland Ice. *Beitr. Min. und Petr.* **17**, 331-346.
- Fechtig, H. and Utech, K. 1964. On the presence or absence of nickel in dark magnetic cosmic spherules and their mechanics of origin. *Ann. New York Acad. Sci.* **119**, art. 1, 243-249.
- Funicello, R. and Fulchignoni, M. 1969. First remarks on the abundance and structure of cosmic spherules in Central Italy sediments. *Gol. Rom.* **VIII**, 117-128.
- Gerard, A. and Griveau, P. 1972. Interprétation quantitative en gravimétrie ou magnétisme à partir des cartes transformées de gradient vertical. *Geophysical Prospecting* **22**, 460-481.
- Hodge, P. W. and Wright, F. W. 1964. Studies of particles of extraterrestrial origin. A comparison of microscopic spherules of meteoritic and volcanic origin. *Jour. Geophys. Res.* **69**, n° 12, 2449-2454.
- Jehanno, C., Boclet, D., Danon, J., Robin, E. and Rocchia, R. 1989. Etude analytique de sphérules provenant du site de l'explosion de la Toungouska. *C. R. Acad. Sci. Paris* **308**, sér. II, 1589-1595.
- Leavastu, T. and Mellis, O. 1955. Extraterrestrial material in deep - sea deposits. *Trans. Amer. Geophys. Un. Washington* **XXXVI**, n° 3, 385-389.
- Lowe, D. R. and Byerly, G. R. 1986. Early Archean silicate spherules of probable impact origin, South Africa and Western Australia. *Geology* **14**, 83-86.
- Maneck, A. and Skowronski, A. 1970. Extraterrestrial spherules from Carboniferous Montmorillonite clays (Upper Silesia). *Bull. Acad. Polonaise des Sciences* **XVIII**, n°2, 69-77.
- Meunier, S. and Tissandier, M. G. 1878. Présence de sphérules magnétiques semblables à celles de la poussière atmosphérique dans les roches géologiques anciennes. *C. R. Acad. Sci., Paris* **86**, 450.
- Mutch, T. A. 1966. Abundances of magnetic spherules in Silurian and Permian Salt samples. *Earth Planet. Sci. Lett.* **1**, 325-329.
- Mutch, T. A. and Garrison, R. E. 1967. Determination of sedimentation rates by magnetic spherules abundances. *Journ. Sed. Petr.* **37**, 1139-1146.
- Nagata, T. and Sugiura, N. 1976. Magnetic characteristics of some Yamato meteorites. *Memoirs of National Institute of Polar Research. Series C* 10. Earth Sciences. (Edited by T. Nagata), 58 pages.
- Nettleton, L. L. 1942. Gravity and magnetic calculations. *Geophysics* **7**, 293-310.
- Peters, L. J. 1949. The direct approach to magnetic interpretation and its practical application. *Geophysics* **14**, 290-320.
- Petterson, H. and Rotschi, H. 1950. Nickel content of deep sea deposits. *Nature* **166**, 108.
- Radhakrishna, M. 1974. Analysis of total field anomalies magnetised spherical ore deposits. *Geoexploration* **12**, 41-50.
- Rao, B. S. R., Prakasa, R. and Krishna Murthy, A. S. 1977. A note on magnetized spheres. *Geophysical Prospecting* **25**, 746-757.
- Rietmeijer, F. J. and Mackinnon, I. D. R. 1984. Melting, ablation and vapor phase condensation during atmospheric passage of the Bjurbole meteorite. *Journ. Geophys. Res.* **89**, supplement, B597-B604.
- Saltus, R. W. and Blakely, R. J. 1984. Hypermag. an interactive 2 and 2 1/2 dimensional gravity and magnetic modeling program. *U. S. Geological Survey Open-File report.*
- Schidlowski, M. and Ritzkowski, S. 1972. Magnetitkügelchen aus dem hessischen Tertiär. Ein Beitrag zur Frager der Kosmischen Kügelchen. *N. JB. Geol. Palaont., Mh. Jg. H.* **3**, 170-182, Stuttgart.

- Schmidt, R. A. and Keil, K. 1966. Electron microprobe study of spherules from Atlantic Ocean sediments. *Geoch. Cosm. Acta* **30**, 471-478.
- Schwarz, E. J. and Wright, N. 1988. The detection of buried placer deposits by ground magnetic survey. *Geophysical Prospecting* **36** 919-932.
- Spector, A. and Grant, F. S. 1970. Statistical models for interpreting aeromagnetic data. *Geophysics* **35**, 428-438.
- Tourenq, J. 1981. Structure au microscope électronique à balayage de billes de magnétite trouvées dans les sédiments tertiaires du Bassin de Paris. Origine possible de ces sphérules. *Trav. du Lab. de Micropal., Univ. P. et M. Curie (P. VI)*, n° **9**, 43-53.
- Zbik M. 1984. Morphology of the outermost shells of the Tunguska black magnetic spherules. *Journ. Geoph. Res.* **89**, supplement, B605-B611.