

Détermination préliminaire par paléomagnétisme de l'âge d'un spéléothème de la plaine de Nullarbor, Australie

Autor(en): **Sesiano J. / Hedley, I.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Archives des sciences et compte rendu des séances de la Société**

Band (Jahr): **49 (1996)**

Heft 2: **Archives des Sciences**

PDF erstellt am: **22.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-740418>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Archs Sci. Genève	Vol. 49	Fasc. 2	pp. 127-136	Septembre 1996
-------------------	---------	---------	-------------	----------------

Communication présentée à la séance du 8 février 1996

DÉTERMINATION PRÉLIMINAIRE PAR PALÉOMAGNÉTISME DE L'ÂGE D'UN SPÉLÉOTHÈME DE LA PLAINE DE NULLARBOR, AUSTRALIE

PAR

J. SESIANO* & I. HEDLEY**

ABSTRACT

Preliminary datation by palaeomagnetism of a speleothem in Nullarbor Plain, Southern Australia. - The Nullarbor plain, in southern Australia, presents very interesting and well-developed karstic phenomena. The present day activity is apparently non-existent, due to arid conditions and to the paucity of vegetation. Thus, it is probable that very different conditions prevailed in the past, particularly during the last glacial periods. Atmospheric as well as oceanic circulations were quite different from those of today. Furthermore, a large underground drainage system developed in the limestone platform and reached a depth of at least 100 m; practically the local sea-level. To produce such large dimensions at or below the base level, a lowering of the sea level is necessary, which was the case during the glacial periods. On the other hand, "mixing corrosion" took (and takes) place at the interface between waters with different mineralization, i.e. fresh water from inland and salt water from the ocean. GOEDE et al. (1990) give an age greater than 400.000 years for speleothems from the region, which is also the limit for the U/Th datation method. From a paleomagnetic study on a black calcite stalagmite from the Koomooloobooka cave, we show that it has a reversed direction of remanent magnetisation. It was therefore formed during a period when the geomagnetic field was reversed, and so the stalagmitic floor is at least older than 780.000 years (Brunhes-Matuyama limit).

Key-words: Karst, cave, palaeomagnetism, Nullarbor plain, Australia

INTRODUCTION

La plaine de Nullarbor est située le long de la côte sud de l'Australie, faisant face à la Grande Baie australienne. La frontière entre les états d'Australie méridionale et occidentale la partage en son milieu. Accidentée d'une légère déclivité de l'intérieur vers l'océan, c'est une dalle de calcaire de 200.000 km² et d'environ 100 à 150 m d'épaisseur (fig.1). Elle domine l'océan par une falaise active de 50 à 100 m de puissance. En certains endroits, à Eucla ou à Madura par exemple, cette falaise devient fossile, une plaine côtière ayant jusqu'à 40 km de largeur la séparant alors de la mer. L'âge des carbonates qui la constituent est d'environ 15 à 20 millions d'années (Miocène); ils remplissent un bassin précambrien au soubassement formé de granite, de

* Département de Minéralogie de l'Université, 13, rue des Maraîchers, CH-1211 Genève 4.

** Lab. de Pétrophysique, Département de Minéralogie de l'Université, 13, rue des Maraîchers, CH-1211 Genève 4.

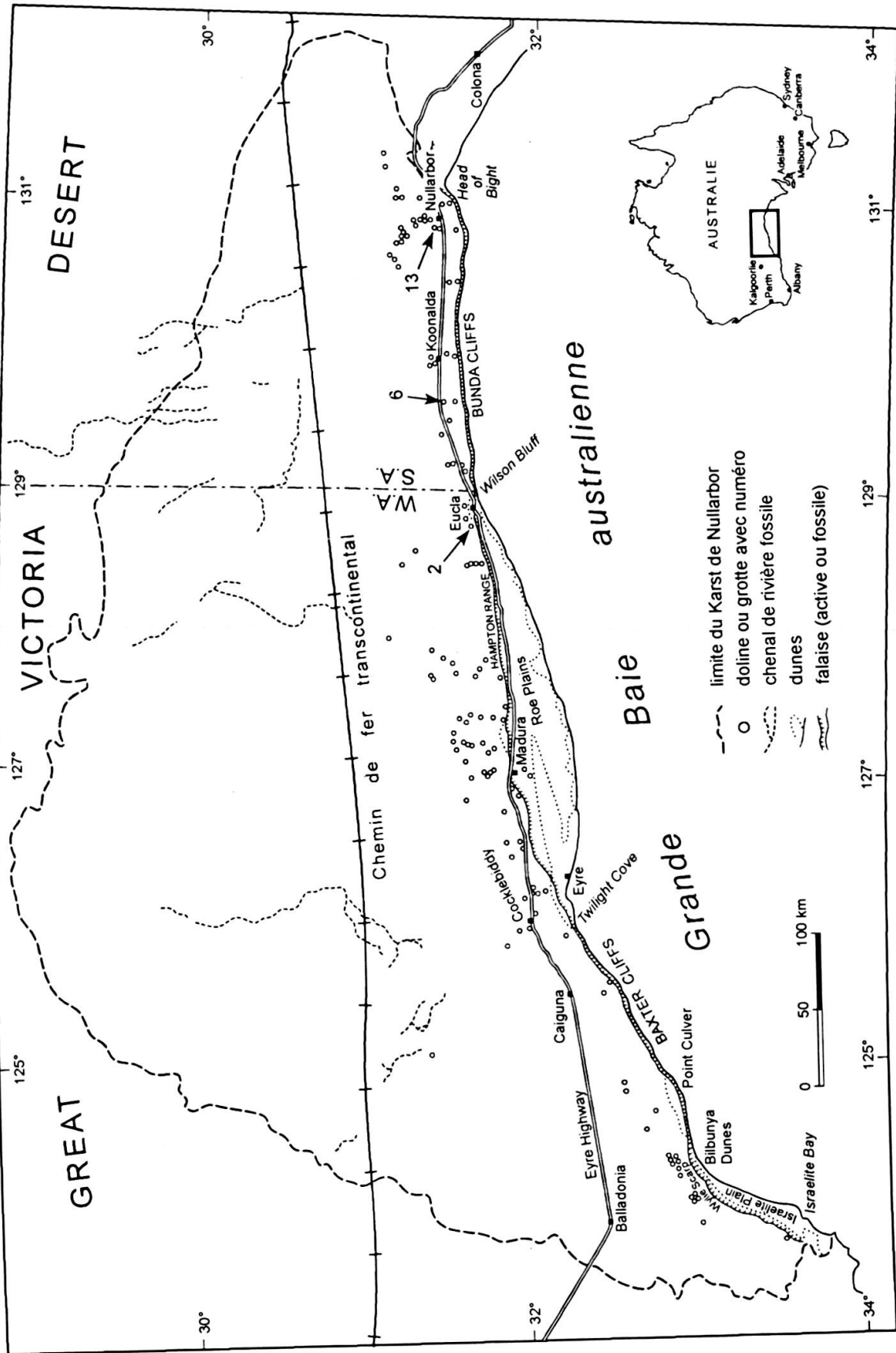


FIG. 1. Le Karst de la plaine de Nullarbor (d'après Lowry et al., 1974)

roches métamorphiques et de roches sédimentaires protérozoïques. Se déposent ensuite principalement des grès, au Crétacé puis à l'Eocène, au gré de la subsidence. Finalement, on a des calcarénites et des calcaires à algues au Miocène. La région est actuellement tectoniquement stable.

L'absence actuelle de drainage de surface et la précarité des précipitations (la lame d'eau annuelle atteint entre 15 et 40 cm selon l'éloignement de la côte) justifient le nom de la plaine: les arbres sont en effet rares, voire inexistantes, et on n'observe en général qu'une steppe parsemée de buissons (végétation xérophytique). L'eau infiltrée s'écoule sous la surface en direction de l'océan, d'une part sous forme diffuse (nappe), d'autre part dans des conduits, là où une fissuration majeure a permis le développement de drains.

De nombreux phénomènes karstiques sont observables sur la plaine, et ils ont été décrits d'une manière détaillée par JENNINGS (1983) et par LOWRY *et al.* (1974). Ce sont pour la plupart des formes héritées, puisqu'à part quelques structures de surface comme des lapiés et des cupules, dont l'évolution présente est très lente, l'activité karstique de surface est pratiquement non-fonctionnelle.

Un certain nombre de macroformes, comme des dolines et des gouffres d'effondrement, donnent accès à des réseaux souterrains plus ou moins étendus. Relativement horizontaux, ils se développent à différentes profondeurs, pouvant parfois descendre sous le niveau actuel de la mer. Le concrétionnement s'édifiant présentement, stalactites et stalagmites, y est des plus réduits. Certaines galeries, de sections monumentales, sont partiellement voire totalement envahies par une eau saumâtre. A la Table 1, on trouvera l'analyse chimique d'un échantillon d'eau prélevé le 11 août 1995 dans la grotte de Weebubbie (No 2 sur la fig. 1). Nous reviendrons plus loin sur ses particularités.

TABLE 1
Analyse d'eau de la grotte Weebubbie (Nullarbor, Australie)
Date: 11 août 1995

Température:	18°C	Magnésium (dosage):	520 mg/l
Turbidité:	0,18	Magnésium (calculé):	560,7 mg/l
Conductibilité:	22.000 µ S/cm	Sodium:	4195 mg/l
pH à 25°:	6,82	Potassium:	72 mg/l
Dureté totale TH:	350,6 °f	Fer total:	0,680 mg/l
Dureté permanente:	342,7 °f	Cuivre:	0,059 mg/l
Azote nitrique:	51,18 mg/l	Chlorures:	7500 mg/l
Oxydabilité:	55 mg/l KMnO ₄	Sulfates:	776 mg/l
Calcium:	414 mg/l		

ETUDE GÉOLOGIQUE DE LA GROTTE DE KOOMOLOOBOOKA

La grotte de Koomooloobooka (No 6 sur la fig. 1), est située à 1 km de l'ancienne piste Eyre. Il s'agit d'une cavité cutannée formée d'une vaste salle d'une quarantaine de mètres de diamètre, s'ouvrant dans les calcaires d'Abrakurrie (Miocène inférieur). Plusieurs regards, qui la mettent en communication avec la surface, sont autant de pièges pour la faune qui y choisit assez fréquemment et qui s'y momifie vu la sécheresse de l'air.

Elle se poursuit par de courtes galeries ramifiées qui devaient être très décorées. En effet, l'ayant explorée le 12 août 1995, nous y avons constaté une destruction presque totale des concrétions. Pour LOWRY et al. (loc. cit.) ainsi que pour des scientifiques australiens rencontrés à Perth, cela serait dû à une cristallisation du sulfate de calcium et du chlorure de sodium, issus de l'océan et des lacs salés de l'intérieur du pays, qui aurait fait éclater les spéléothèmes (cf. les taffoni). De par notre expérience, nous n'avons jamais rien constaté de semblable dans des environnement côtiers arides (par exemple dans de nombreux pays méditerranéens), et au vu des gros diamètres réduits en morceaux, il nous semble qu'il s'agisse le plus souvent d'un vandalisme anthropique. De plus, lors de la visite d'autres cavités du secteur, comme la grotte Ivy (No 13 sur la fig. 1), plus difficile d'accès, nous avons pu voir des concrétions en grande partie intactes. Il y a un second point de divergence avec les Australiens, c'est celui concernant la couleur brun très sombre des concrétions (calcite noire). Pour eux, il s'agirait de carbone organique, alors qu'il nous semblait qu'elle découlait de la présence d'oxydes de fer. L'analyse chimique nous a montré une quantité de 0,1% d'oxydes de fer. Cette faible quantité, qui n'est donc pas responsable de la couleur de la concrétion, a été cependant bien suffisante pour le paléomagnétisme. Ayant pulvérisé un fragment de calcite noire, une analyse par pyrolyse au Laboratoire de Spectrométrie de masse de l'Université de Genève suivie d'une chromatographie nous a indiqué la présence de matières organiques variées, mais en assez faible quantité.

Enfin, une lame mince effectuée au Laboratoire de Minéralogie de l'Université de Genève ne nous a pas montré au microscope de matière organique (carbone, par exemple); par contre, la stalagmite était formée exclusivement de calcite, et il n'y avait ni aragonite, ni dolomite.

ETUDE PALÉOMAGNÉTIQUE

Une carotte de 25 mm de diamètre a été découpée dans un bloc de plancher stalagmitique provenant de la grotte de Koomooboolooka. La surface supérieure de cette concrétion était tout à fait évidente, cette observation étant fondamentale pour la détermination de la composante verticale du champ géomagnétique au moment de la déposition du carbonate de calcium. Les mesures ont été effectuées au Laboratoire de Pétrophysique, Département de Minéralogie, Université de Genève. Normalement, les planchers stalagmitiques ont une assez faible aimantation rémanente, souvent inférieure à 10^{-4} A/m, mais les deux spécimens étudiés, provenant de Koomooboolooka, ont des valeurs nettement supérieures, 0,25 et $2,8 \cdot 10^{-3}$ A/m. Cependant, la susceptibilité magnétique est toujours dominée par le diamagnétisme de la calcite, et elle est négative: $-0,8 \cdot 10^{-5}$ S.I.

La direction d'aimantation rémanente naturelle du plancher est opposée à la direction actuelle du Champ Magnétique Terrestre (CMT) dans la plaine de Nullarbor (Table 2). On peut donc supposer que la déposition de la calcite et des oxydes de fer qui portent l'aimantation s'est produite lors d'une configuration du CMT inverse à celle d'aujourd'hui.

Pour vérifier que le plancher n'a qu'une composante d'aimantation, nous avons procédé à une analyse plus approfondie par désaimantation thermique. Un des échantillons a été chauffé par paliers successifs jusqu'à 550 °C. Les résultats sont donnés sous forme de projections orthogonales (diagramme de Zijderveld) dans la Fig. 2. A partir de 150°C, la direction reste assez constante et une analyse de spectre de linéarité des étapes de désaimantation indique une direction: déclinaison=186°; inclinaison=+21,6° pour l'intervalle entre 200°C et l'origine de la projection orthogonale utilisée. Cette direction correspond à une linéarité des segments de désaimantation de 97%, avec une déviation angulaire maximum de moins de 5° (4,6°); on peut donc considérer le résultat comme fiable. Il faut noter que cette inclinaison est nettement plus faible en magnitude que la valeur du CMT à Nullarbor, avec l'hypothèse d'un champ dipolaire et axial (51°), et que le champ magnétique actuel à Nullarbor (-65°).

Plusieurs facteurs peuvent produire une réduction dans l'inclinaison enregistrée par le plancher stalagmitique. On peut exclure son basculement par un effet tectonique, car la région est assez stable.

L'aimantation rémanente des spéléothèmes britanniques est considérée d'origine chimique et sans erreur d'inclinaison (PERKINS ET MAHER, 1993). Cependant le plancher très sombre de Koomoolooka peut avoir une rémanence d'origine détritique, qui a une inclinaison plus faible que le CMT de l'époque.

La variation lente du CMT régional (variation séculaire) peut produire des différences allant jusqu'à plusieurs dizaines de degrés. Une étude plus détaillée du plancher est nécessaire pour éclairer l'origine de la faible inclinaison magnétique.

Il semble donc qu'on puisse attribuer la déposition de la calcite à l'époque de Matuyama, soit entre 780.000 et 2.580.000 ans BP (voir fig. 3) (BERGGREN *et al.*, 1995). Il est évident qu'elle peut dater d'une période inverse antérieure (Gilbert: 3.580.000 ans, voire avant), mais cela semble peu probable au vu de l'état de conservation de la grotte.

On peut relever que des datations australiennes de spéléothèmes du même secteur basées sur la méthode U/Th ont donné des âges plus grands que 400.000 ans, mais sans pouvoir préciser plus, car c'est la limite d'utilisation de la méthode (GOEDE *et al.*, 1990). Ces résultats par deux méthodes très différentes sont donc compatibles.

IMPLICATIONS PALÉOCLIMATIQUES

Le concrétionnement dans une cavité s'effectue en général lors de phases humides et chaudes. La présence d'un couvert végétal sus-jacent ne peut qu'exacerber le phénomène par libération d'acides organiques au niveau des racines, rendant l'eau plus agressive. Selon la tectonique globale, la plaque indienne dont l'Australie fait partie, ne s'est déplacée que de quelques dizaines de km durant le court laps de temps nous séparant de la formation de la concrétion, soit environ un million d'années. L'Australie était donc pratiquement à sa latitude présente. On doit cependant invoquer des conditions climatiques totalement différentes de celles qui règnent actuellement dans la région, la dimension des galeries ne pouvant que l'attester. De plus, il faut supposer un

DESAIMANTATION THERMIQUE

SPECIMEN : NLB 1.2

$M_0 = 2.9 \cdot 10^{-3} \text{ A/m}$

$Ech. = 0.24 \cdot 10^{-3} \text{ A/m}$

UNIVERSITE DE GENEVE
LAB. DE PETROPHYSIQUE

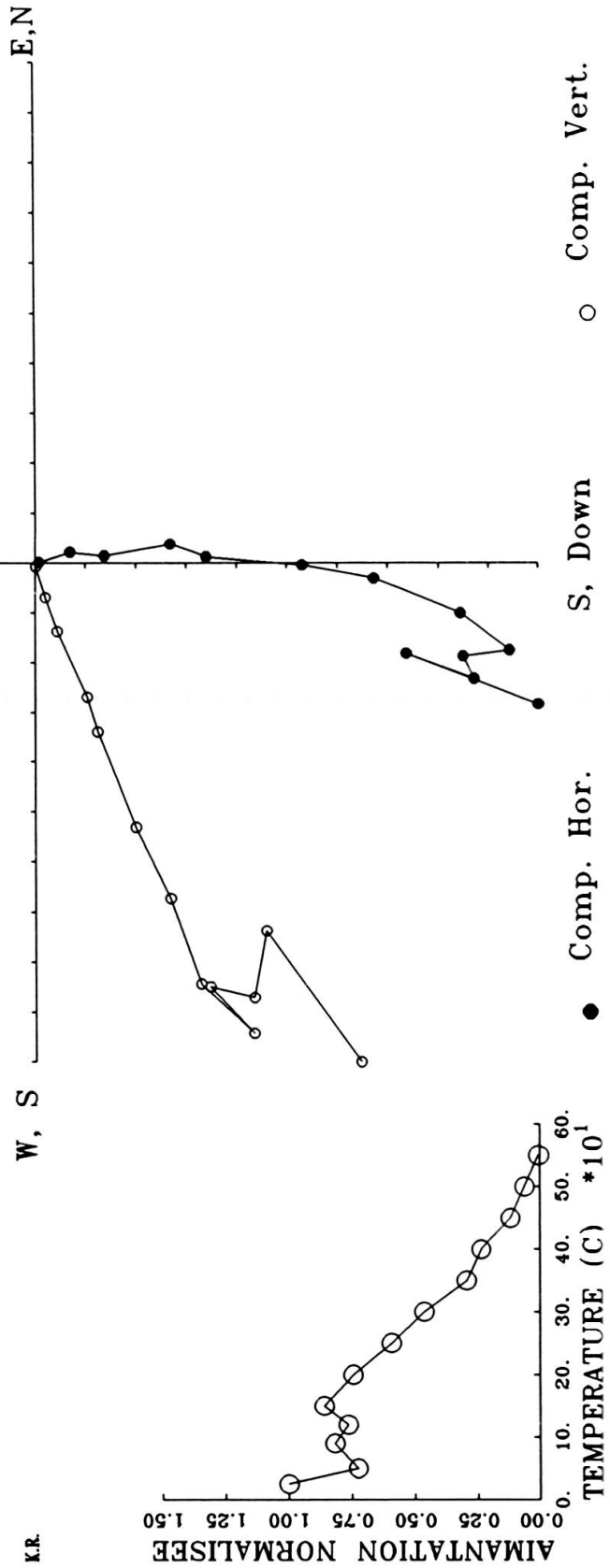


FIG. 2. Variation de l'aimantation rémanente de l'échantillon 1.2 du plancher stalagmitique avec la température.

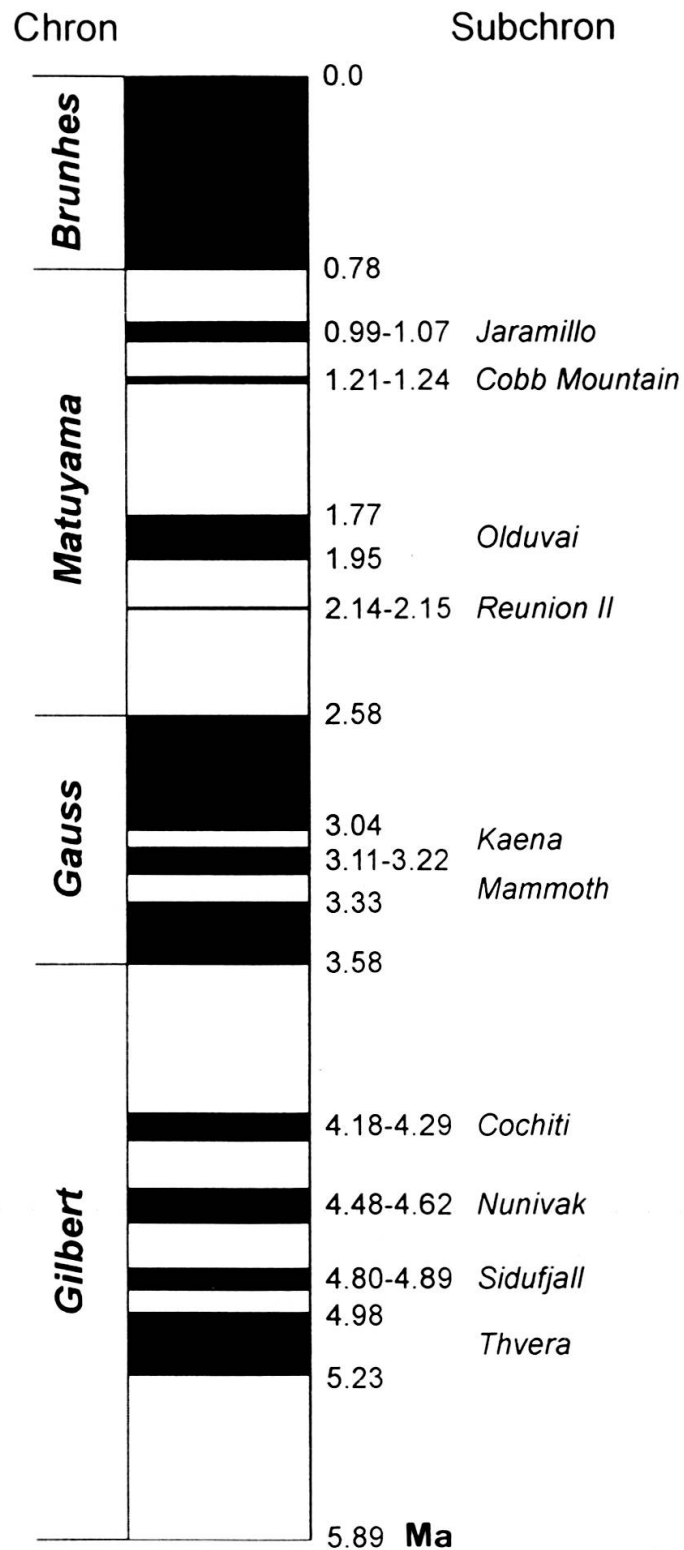


FIG. 3

Echelle des inversions du champ magnétique terrestre d'après BERGGREN *et al.*, 1995. Ages en millions d'années. Noir - champ normal, blanc - champ inverse.

TABLE 2
Données paléomagnétiques
Grotte de Koomoolooka, Nullarbor, Australie.

	Déclinaison (°)	Inclinaison (°)
a) Aimantation rémanente naturelle du plancher stalagmitique	203	+29,2
b) Champ magnétique terrestre	4	-65
c) Champ magnétique terrestre à Nullarbor (hypothèse du champ dipolaire étaxial)	0	-51
d) Idem c) mais avec polarité inverse	180	+51
e) Aimantation rémanente caractéristique du plancher stalagmitique, (désaimantation thermique de 200 à 550°C).	186	+21.6

niveau océanique plus bas, même si dans le cas de Nullarbor, on ne descend que peu sous le niveau de la mer, du moins dans les réseaux pour le moment connus des plongeurs, et même si aucune communication directe avec l'océan n'a pu être mise en évidence, bien que l'eau soit saumâtre. Le problème est un peu semblable à celui de la Fontaine de Vaucluse, en Provence, où un réseau souterrain de grandes dimensions s'enfonce à plusieurs centaines de mètres sous le niveau actuel de la Méditerranée: son creusement s'est effectué lors de la régression du Messinien, avec un niveau de base très déprimé. La remontée du niveau marin a provoqué un ennoyage des galeries.

Mais ces deux conditions, végétation et bas niveau marin, sont en fait liées: durant les périodes glaciaires du Pléistocène, on sait que le niveau marin s'est abaissé au maximum de près de 200 m. La géographie de la région ne pouvait être que très différente, avec une plateforme exondée, la Tasmanie reliée à l'Australie, de même que la Nouvelle-Guinée, par disparition des mers de Timor et d'Arafura. Dans cette configuration, on peut imaginer un schéma des circulations des courants marins et atmosphériques très altéré par rapport à ce que l'on observe aujourd'hui. En conséquence, des conditions climatiques tout autres que celles de la situation présente. On peut même supposer un drainage de surface, de l'intérieur vers la côte, avec des lacs tantôt endo-, tantôt exoréiques. Le creusement des galeries, alors exondées, se faisait dans des conditions vadoses par des eaux douces ou salées. Et même lorsque le niveau océanique atteignait des valeurs proches de celles d'aujourd'hui, la côte devait s'avancer plus loin dans la Grande Baie australienne: avec un recul moyen dû à l'érosion des vagues de 10^{-2} à 10^{-3} m/an (calcaire des côtes normandes, par exemple) (PASKOFF, 1985), on arrive à une valeur de quelques km en un demi-million d'années, nonobstant la corrosion chimique. Par voie de conséquence, des conditions climatiques et de drainage de toute façon différentes de celles que l'on observe aujourd'hui.

Un dernier facteur doit encore être invoqué, mais pour les grottes profondes seulement, dans lesquelles une circulation phréatique a pu prévaloir. C'est dans la zone de confrontation (interface) des eaux douces et salées que la corrosion est la plus marquée, comme l'a montré JAMES (1992), en appliquant aux grottes de Nullarbor les idées de BÖGLI (1980). Actuellement, cette zone est située à environ 100 m sous le niveau de la plaine, comme l'indique la très forte minéralisation de l'eau de la grotte de Weebubbie (Table I). Mais, elle a varié de profondeur au gré des fluctuations glacio-eustatiques, d'où des réseaux à extension horizontale, plus ou moins étagés. Il est alors assez facile d'expliquer ces grands vides dans la zone de battement du niveau marin.

En résumé, si l'on admet la stabilité tectonique de la région, les réseaux profonds ont été creusés par le processus classique de dissolution par des eaux agressives et par corrosion de mélange, alors que ceux qui sont bien au-dessus du niveau actuel 0 m, ne l'ont été que par le premier procédé.

CONCLUSION

Le prélèvement d'un fragment de plancher stalagmitique dans une grotte de la plaine de Nullarbor nous a permis d'effectuer une datation paléomagnétique. La direction de ce champ étant l'inverse de celui observé actuellement, nous pouvons dire que la concrétion date au moins de l'époque de Matuyama, soit avant 780.000 ans. Cela permet d'émettre quelques considérations sur les conditions paléoclimatiques qui devaient régner à cette époque dans la région concernée pour pouvoir excaver de tels volumes, et cela à des altitudes allant de la surface à des niveaux inférieurs au niveau actuel de la mer.

Il est clair que pour confirmer ce résultat, un nombre plus élevé d'échantillons devra être analysé.

RÉSUMÉ

La plaine de Nullarbor, région semi-aride du sud de l'Australie, présente des phénomènes karstiques intéressants, mais qui ne semblent presque plus évoluer présentement, du moins pour ceux de la surface. Ils sont hérités d'une part, de périodes climatiquement plus favorables par l'abondance des précipitations et par une végétation plus développée, et d'autre part, de corrosion par mélange d'eaux de minéralisations différentes. En effet, les macroformes karstiques d'écoulement sont incompatibles avec la faible altitude et les conditions actuelles de la plateforme carbonatée d'âge miocène du Nullarbor. Cependant, il faut prendre en compte le fait qu'à de nombreuses reprises le niveau marin s'est abaissé substantiellement lors des périodes glaciaires, tandis qu'un climat différent se mettait en place. Cette fluctuation du niveau de base a exacerbé le creusement permettant à des volumes considérables d'être excavés. Le paysage que nous considérons aujourd'hui, statique à notre échelle humaine du temps, n'est que l'héritage d'un passé dynamique, très proche à l'échelle géologique.

C'est ainsi qu'une équipe australienne, ayant tenté des datations sur quelques concrétions du Nullarbor, a conclu qu'un âge de plus de 400.000 ans devait leur être attribué, sans plus de précision, car la limite de la méthode U/Th était atteinte. Il nous a donc semblé intéressant de nous tourner vers le paléomagnétisme. Un échantillon d'un plancher stalagmitique (calcite noire) de la grotte de Koomooloobooka nous a donné une direction du champ géomagnétique inverse par rapport à ce qu'elle est actuellement: son âge est très probablement de la période de Matuyama, soit antérieur à 780.000 ans, voire de la période de Gilbert, encore plus ancienne. Bien que ces résultats soient très clairs, il faudrait cependant plus d'échantillons pour contrôler cette affirmation.

Mots-clés: Karst, grotte, paléomagnétisme, plaine de Nullarbor, Australie.

REMERCIEMENTS

Nous exprimons notre gratitude au Laboratoire de l'eau des Services Industriels de Genève, et plus particulièrement à son chef, Monsieur S. Ramseier, pour l'analyse de l'échantillon d'eau donnée dans cet article.

Nous remercions aussi le Professeur F. Gulaçar pour la détermination de la matière organique de l'échantillon de calcite de la grotte de Koomooloobooka, ainsi que J. Metzger pour la réalisation des figures.

BIBLIOGRAPHIE

- BERGGREN, W.A., F.J. HILGEN, C.G. LANGEREIS, D.V. KENT, J.D. OBRADOVICH, I. RAFFI, M.E. RAYMO, N.J. SHACKLETON, 1995. "Late Neogene chronology: New perspectives in high resolution stratigraphy". In: *GSA Bulletin*, 107, 1272-1287.
- BÖGLI, A., 1980. "Karst hydrology and physical speleology". 285 p. *Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York*.
- GOEDE, A., S.H. RUSSELL, T.C. ATKINSON, & R.J. ROWE, 1990. "Pleistocene climatic change in Southern Australia and its effect on speleothem deposition in some Nullarbor caves". *Journ. of Quat. Sc.*, 5, 29-38, U.K.
- JAMES, J.M. 1992. "Corrosion par mélange des eaux dans les grottes de Nullarbor (Australie)" in "Karst et évolutions climatiques". 520 p. J.-N. SALOMON & R. MAIRE. *Presses univ. de Bordeaux*.
- JENNINGS, J.N., 1983. "The disregarded karst of the arid and semiarid domain". *Karstologia*, 1, 61-73, Paris.
- LOWRY, D.C. & JENNINGS, 1974. "The Nullarbor karst Australia". *Z. Geomorph. N.F.*, 18, 1, 35-81, Berlin-Stuttgart.
- PASKOFF, R., 1985. "Les littoraux". 185 p. *Masson, Paris*.
- PERKINS, A.M. & B.A. MAHER, 1993. "Rock magnetic and paleomagnetic studies of British speleothems". In: *J. Geomag. Geoelectr.*, 45, 145-153.