

# Une dent de Nodosauridé (Dinosauria, Ankylosauria) dans le Cénomanién de Touraine\*

Eric BUFFETAUT <sup>(1)</sup>  
Arnaud BRIGNON <sup>(2)</sup>

*A nodosaurid tooth (Dinosauria, Ankylosauria)  
from the Cenomanian of Touraine (west-central France)*

Géologie de la France, n°1, 1999, pp. 49-52, 1 pl. photo.

Mots-clés : Dinosauria, Ankylosauria, Nodosauridae, Dent, Sables de Varennes, Cénomanién, Indre-et-Loire, France.

Key words: Dinosauria, Ankylosauria, Nodosauridae, Tooth, Varennes Sands, Cenomanian, Indre-et-Loire, France.

## Résumé

Une dent isolée provenant des Sables de Varennes (Cénomanién moyen) au sud-ouest de Loches (Indre-et-Loire) est attribuée à un dinosaure ankylosaurien de la famille des Nodosauridae. Ce spécimen ajoute un élément nouveau à la courte liste des dinosaures connus dans les dépôts marins peu profonds du début du Crétacé supérieur dans le Centre-Ouest de la France.

## Abstract

An isolated tooth from the Varennes Sands (Middle Cenomanian) southwest of Loches (Indre-et-Loire, west-central France) is identified as belonging to an ankylosaurian dinosaur of the family Nodosauridae. This specimen adds a new element to the short list of dinosaurs known from the shallow marine deposits of the early part of the Late Cretaceous in west-central France.

## Introduction

Relativement peu de restes de dinosaures sont connus dans la partie inférieure du Crétacé supérieur européen (Buffetaut, 1997). Les restes signalés jusqu'ici dans le Cénomanién français (Buffetaut, 1989 ; Buffetaut *et al.*, 1991 ; Buffetaut et Pouit, 1994) sont dans l'ensemble des ossements

ou dents isolés, provenant de sédiments marins, et ne permettant généralement pas des identifications très précises. La dent décrite dans le présent article est un fossile de ce type, mais elle témoigne de la présence dans le Cénomanién français d'un groupe de dinosaures, les ankylosaures, qui n'y avait pas encore été décrit de façon indiscutable, et elle vient à ce titre combler une lacune.

## Cadre géologique

Au Cénomanién, se dessine un mouvement transgressif d'une très grande importance dans le Bassin de Paris. Par suite de l'approfondissement de la mer, les sédiments détritiques vont disparaître du centre du bassin où ils seront remplacés par la craie. En revanche, les sédiments sableux vont se développer dans les régions où la mer avance et notamment en Touraine, région qui avait été épargnée par la transgression albienne (Lecointre, 1947). Les « Sables de Varennes », considérés comme l'équivalent latéral des Sables de Vierzon, constituent un bon exemple de dépôt littoral déposé en milieu agité de faible profondeur (Lecointre, 1914 ; Rasplus, 1968 ; Alcaydé, 1980). Ces sables glauconieux attribués au Cénomanién moyen, affleurent au lieu-dit La Chaussée près de Varennes au sud-ouest de Loches (Indre-et-Loire) où ils atteignent une épaisseur de 10 m. Cette

formation livre à certains endroits des tests d'huîtres (principalement « *Exogyra columba* » var. *minor*) et de brachiopodes en grande quantité ainsi que des débris d'échinodermes. Des restes de vertébrés y ont également été signalés (Lecointre, 1914 ; Landemaine, 1991 ; Buffetaut et Pouit, 1994). Parmi ceux-ci, des dents de sélaciens (Landemaine, 1991), des dents et une plaque dermique de crocodiliens (Buffetaut et Pouit, 1994) ont fait l'objet d'études plus détaillées. Des restes de dinosaures y ont aussi été signalés par Landemaine (1991), qui mentionne dans une liste faunique : « un Stégosaurien ou un Ankylosaurien, un Iguanodontidé ou un Hadrosauridé et un Saurischien ». Cependant, aucune description ou figuration de ces pièces n'a été fournie, et ces identifications demeurent incertaines.

Le tamisage de plusieurs tonnes de sédiment sur maille de 2 mm et 0,5 mm, effectué par l'un d'entre nous (A. Brignon) depuis 1985, a permis la récolte de nombreux restes de poissons (sélaciens, holocéphales, actinoptérygiens), de crocodiliens, de chéloniens et de serpents marins. La dent d'ankylosaure, qui fait l'objet de cette note, atteste également la présence de dinosaures sur les terres émergées avoisinantes, alors situées au nord-ouest du Massif central et au sud-est du Massif armoricain (Rat *et al.*, 1978).

\* Manuscrit déposé le 19 février 1999, accepté le 8 mars 1999.

(1) CNRS (UMR 5561), 16 cour du Liégar, 75013 Paris.

(2) 15 rue du Colombier, 91400 Saclay.

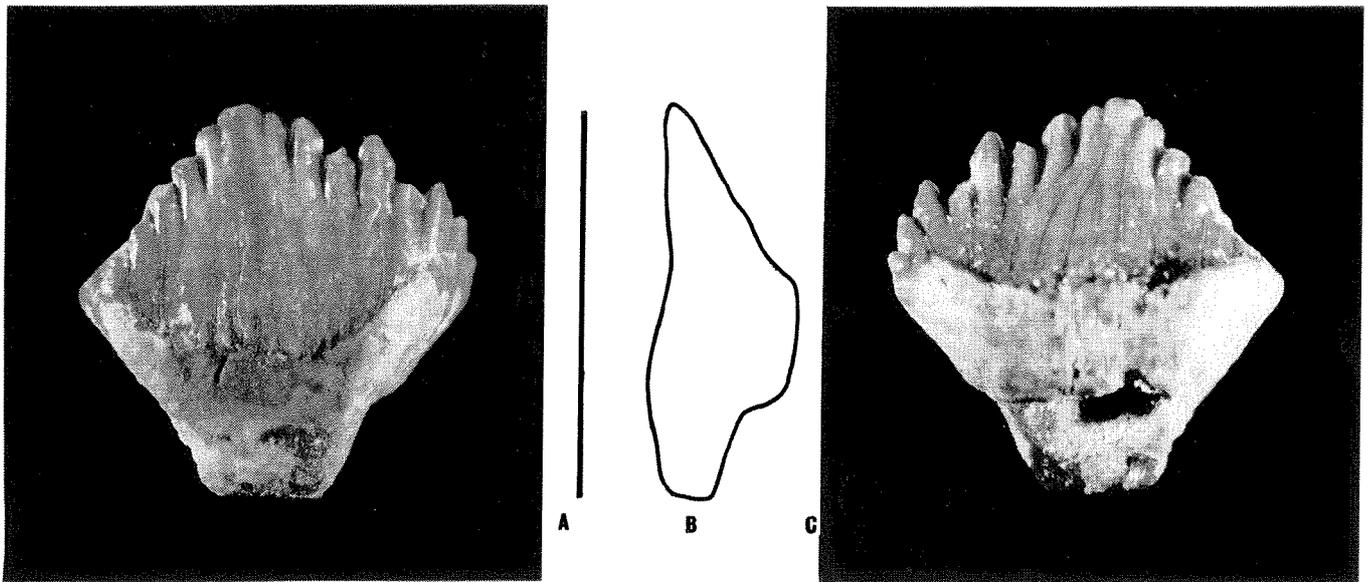


Fig. 1.- Dent de Nodosauridé du Cénomanien moyen de Varennes (Indre-et-Loire), collection A. Brignon, n°CHA 62. A : vue linguale (?). B : section transversale. C : vue labiale (?). Barre d'échelle : 5 mm.

Fig. 1.- Nodosaurid tooth from the Middle Cenomanian of Varennes (Indre-et-Loire), A. Brignon collection, no. CHA 62. A: lingual (?) view. B: cross section. C: labial (?) view. Scale bar: 5 mm.

## Description et comparaisons

Le spécimen (fig. 1) trouvé dans les Sables de Varennes est une dent isolée bien conservée (collection Brignon, n° CHA 62), à l'exception de la racine, qui est presque entièrement détruite. On peut seulement constater qu'elle était nettement plus étroite que la couronne, creuse, et probablement cylindrique. La couronne a presque la forme d'un losange, avec un apex assez bas, formant un angle légèrement obtus, et une grande longueur maximale (5 mm) par rapport à sa hauteur (4 mm). Les deux arêtes convergeant vers l'apex, dont l'une est plus longue que l'autre, portent des denticules bien marqués, séparés par des sillons profonds, qui ne s'étendent pas sur toute la hauteur des flancs de la dent. Il y a huit denticules sur chacune des arêtes, de part et d'autre du denticule apical ; les plus éloignés de ce dernier sont très petits. Sur la plus courte des arêtes, les denticules montrent une usure naturelle de leur sommet assez marquée. Par comparaison avec le maxillaire de nodosauridé du Royal Ontario Museum (ROM 1215) figuré par Coombs (1990) et Carpenter (1990), il apparaît que l'arête la plus longue est l'antérieure. Les flancs de la couronne montrent de chaque côté un cingulum bien marqué, concave vers

l'apex, avec un bord rugueux. Le cingulum est nettement plus haut sur une des faces que sur l'autre, ce qui confère à la dent une section transversale asymétrique. Les dents maxillaires du spécimen ROM 1215 (Coombs, 1990 ; Carpenter, 1990) montrent un cingulum plus élevé du côté labial que du côté lingual. Si cette observation peut s'appliquer à la dent trouvée à Varennes, il s'agirait probablement d'une dent du côté droit, à condition que ce soit bien une dent maxillaire, ce qui paraît très difficile à démontrer, car chez les ankylosaures il n'y a guère de différences significatives entre les dents supérieures et inférieures, seules les dents portées par le prémaxillaire se distinguant par la possession d'une unique cuspidé apicale (Coombs et Maryanska, 1990).

L'aspect général de la dent indique clairement un dinosaure ornithischien du groupe des thyroéphores, et plus précisément un ankylosaure. Chez les stégosaures, dont les dents ressemblent aussi quelque peu à celle trouvée à Varennes, les denticules sont souvent prolongés sur les faces de la dent par des côtes bien marquées (notamment dans le prolongement du denticule apical), ce qui n'est pas le cas ici, et les cingulums se trouvent à peu près au même niveau sur chaque face, ce qui donne une section plus symétrique à la dent (voir Galton, 1990). L'asymétrie marquée des cingulums

observée sur la dent de Varennes est un caractère permettant de la rapporter aux Ankylosauria (Coombs et Maryanska, 1990).

Parmi les Ankylosauria, les Nodosauridae se distinguent des Ankylosauridae, au point de vue dentaire, par la présence de cingulums bien définis, plutôt que d'un simple renflement de la base de la couronne (Coombs, 1990 ; Coombs et Maryanska, 1990). Les cingulums nettement marqués de la dent de Varennes conduisent donc à la placer parmi les Nodosauridae plutôt que parmi les Ankylosauridae. D'après Coombs (1990), chez les Nodosauridae, les flancs de la couronne sont fréquemment cannelés, ce qui n'est pas le cas ici, et à cet égard la dent de Varennes se rapprocherait plus de certains Ankylosauridae, chez lesquels les flancs de la couronne sont lisses. Cependant, ce caractère est manifestement très variable, et les illustrations de Coombs (1990) montrent clairement que certaines dents de Nodosauridae ont des flancs lisses rappelant tout à fait l'aspect de la dent de Varennes. C'est le cas aussi chez le Nodosauridé *Acanthopholis*, du Cénomanien d'Angleterre (voir plus bas). Une attribution plus précise est extrêmement difficile, car non seulement les dents de Nodosauridae ont une morphologie conservatrice, mais elles montrent des variations importantes à l'intérieur d'une

même espèce, et aussi suivant leur position dans la mâchoire, ce qui rend leur utilisation taxinomique pour le moins délicate (Coombs, 1990 ; Carpenter, 1990).

Parmi les quelques restes d'ankylosaures connus dans l'Albien et le Cénomanién d'Europe, peu se prêtent à une comparaison avec la dent de Varennes. Il n'y a pas de restes dentaires parmi le maigre matériel décrit en France, qui ne se compose guère que d'un ostéoderme de Nodosauridé trouvé dans l'Albien de l'Aube (Knoll *et al.*, 1998). Le petit spécimen provenant du Gault de Grandpré considéré comme un écusson osseux d'*Hylaeosaurus* par Barrois (1875) et Sauvage (1882) ne paraît pas être un ostéoderme d'ankylosaure (Buffetaut *et al.*, 1991).

En ce qui concerne le matériel anglais, les restes d'ankylosaures (d'âge Albien) du Cambridge Greensand, récemment revus par Pereda-Suberbiola (1993), ne comportent pas de dents. Les comparaisons ne sont en fait possibles qu'avec les dents faisant partie du matériel-type d'*Acanthopholis horridus* Huxley, 1867, du Chalk Marl (Etheridge, 1867) de Folkestone (Kent), dont l'âge est Cénomanién inférieur (Rawson *et al.*, 1978), et donc un peu plus ancien que celui de la dent de Varennes. Ces dents, dont une est en bon état, ont été décrites par Huxley (1867), et plus récemment par Pereda-Suberbiola (1993). La dent figurée par Huxley ressemble quelque peu à celle trouvée à Varennes, par l'asymétrie des cingulums, le nombre de denticules et le fait que les flancs de la couronne sont lisses (ce que l'on pourrait prendre pour des stries sur l'illustration de Huxley sont en fait des lignes colorées sur l'émail, comme l'explique le texte), mais elle a une couronne plus élevée, avec un apex plus prononcé, et, selon Pereda-Suberbiola (1993), les cingulums ne sont pas rugueux (la signification de ce dernier

caractère n'est pas forcément très grande, puisque Coombs, 1990, signale que l'ornementation du cingulum peut varier d'une dent à l'autre chez un même individu). Compte tenu de la variabilité des dents de Nodosauridae évoquée plus haut, les différences observées ne sont peut-être pas très significatives, mais il serait certainement téméraire d'attribuer la dent de Varennes à *Acanthopholis*, et nous nous contenterons donc d'y voir un Nodosauridé indéterminé.

## Conclusions

La découverte de cette dent d'ankylosaure ajoute un élément à la courte liste des dinosaures décrits dans le Cénomanién de France (voir Buffetaut, 1995), qui comprenait déjà, outre divers restes d'affinités incertaines (Buffetaut *et al.*, 1991), des sauropodes (Buffetaut, 1989 ; Buffetaut *et al.*, 1991) et des théropodes (Dumas, 1876 ; Buffetaut et Pouit, 1994), et à laquelle il faut ajouter des ornithopodes, d'après des restes dentaires remaniés dans les faluns de la vallée de la Loire (Buffetaut *et al.*, 1980 ; Buffetaut et Pouit, 1994). La présence d'un nodosaure n'est pas particulièrement surprenante, puisque ce groupe est connu depuis longtemps dans le Cénomanién d'Angleterre (Huxley, 1867). La dent isolée trouvée à Varennes ne pouvant être identifiée avec une grande précision taxinomique, elle n'apporte qu'une contribution limitée à l'étude du problème des ankylosaures du Crétacé européen, même si elle se place dans l'intervalle chronologique séparant les formes relativement mieux connues du Crétacé inférieur (*Hylaeosaurus*, *Polacanthus*) de celles du Crétacé supérieur (*Struthiosaurus* - voir Pereda-Suberbiola, 1993, pour une revue récente de l'ensemble des ankylosaures européens).

D'un point de vue taphonomique, la dent de Varennes fait partie des restes isolés de vertébrés continentaux trouvés

occasionnellement dans les sédiments marins peu profonds du Crétacé supérieur du Centre-Ouest de la France (Buffetaut et Pouit, 1994). Les Sables de Varennes étant considérés comme un dépôt littoral (Alcaydé, 1980), il n'est pas étonnant qu'on y rencontre des restes d'animaux terrestres, et il n'est pas nécessaire pour expliquer leur présence d'envisager une longue flottaison en mer, comme pour d'autres restes de dinosaures trouvés en milieu marin (Buffetaut, 1994) ; la côte la plus proche n'était certainement pas éloignée, et il s'agit selon toute vraisemblance de celle du Massif central (voir les reconstitutions paléogéographiques de Rat *et al.*, 1978). Compte tenu de la petite taille de cette dent, il est d'ailleurs tout à fait possible qu'elle n'ait été qu'un élément détritique un peu particulier apporté en milieu littoral par un cours d'eau (voir Buffetaut, 1994). La faible usure présentée par cette dent n'est pas en contradiction avec cette hypothèse, puisque des études expérimentales ont montré la grande résistance des dents de dinosaures à l'abrasion lors d'un transport (Argast *et al.*, 1987). Horner (1979) a suggéré que les Nodosauridae avaient peut-être un habitat côtier, du fait de l'abondance relative de leurs restes dans certains dépôts marins du Crétacé nord-américain. La dent trouvée à Varennes, bien que provenant d'un dépôt littoral, est un élément trop isolé pour qu'on puisse y voir une confirmation de cette hypothèse. L'existence de restes d'ankylosaures dans des types de sédiments très divers suggère plutôt une capacité d'adaptation à des environnements variés (Coombs et Deméré, 1996).

## Remerciements

Nous remercions Monsieur et Madame R. Brignon pour leur aide sur le terrain.

## Références

- Alcaydé G. (1980) - Varennes (Sables de). In : C. Mégnién (éd.), Synthèse géologique du bassin de Paris, vol. 3 : Lexique des noms de formations, Mém. BRGM, Fr., n° 103, 323.
- Argast S., Farlow J.O., Gabet R.M., Brinkman D.L. (1987) - Transport-induced abrasion of fossil reptilian teeth: Implications for the existence of Tertiary dinosaurs in the Hell Creek Formation, Montana. *Geology*, **15**, 927-930.
- Barrois C. (1875) - Les reptiles du terrain crétacé du N.E. du bassin de Paris. *Bull. sci. hist. litt. Nord*, **6**, 73-83.
- Buffetaut E. (1989) - Une vertèbre de dinosaure titanosauridé dans le Cénomanién du Mans et ses implications biogéographiques. *C.R. Acad. Sci. Fr.*, **309**, (2), 437-443.

- Buffetaut E. (1994) - The significance of dinosaur remains in marine sediments: an investigation based on the French record. *Berliner geowissenschaftliche Abhandlungen*, E, 13, 125-133.
- Buffetaut E. (1995) - Dinosauriens de France. Editions du BRGM, Orléans, 144 p.
- Buffetaut E. (1997) - European dinosaurs. In: P.J. Currie and K. Padian (eds), *Encyclopedia of Dinosaurs*, Academic Press, San Diego, 212-216.
- Buffetaut E., Cuny G., Le Lœuff J. (1991) - French dinosaurs: the best record in Europe? *Modern Geology*, 16, 17-42.
- Buffetaut E., Pouit D. (1994) - Restes de dinosaures et de crocodyliens dans le Crétacé supérieur du Centre-Ouest de la France. *C.R. Acad. Sci. Fr.*, **319**, (2), 253-259.
- Buffetaut E., Pouit D., Taquet P. (1980) - Une dent de Dinosaurien ornithopode remaniée dans les faluns miocènes de Doué-Douces (Maine-et-Loire). *C.R. somm. Soc. géol. Fr.*, 5, 200-202.
- Carpenter K. (1990) - Ankylosaur systematics: example using *Panoplosaurus* and *Edmontonia* (Ankylosauria, Nodosauridae). In: K. Carpenter et P.J. Currie (eds), *Dinosaur systematics. Approaches and perspectives*, Cambridge University Press, Cambridge, 281-298.
- Coombs W.P. (1990) - Teeth and taxonomy in ankylosaurs. In: K. Carpenter and P.J. Currie (eds), *Dinosaur systematics. Approaches and perspectives*, Cambridge University Press, Cambridge, 269-279.
- Coombs W.P., Deméré T.A. (1996) - A Late Cretaceous nodosaurid ankylosaur (Dinosauria: Ornithischia) from marine sediments of coastal California. *J. Paleontol.*, **70**, 311-326.
- Coombs W.P., Maryanska T. (1990) - Ankylosauria. In: D.B. Weishampel, P. Dodson and H. Osmolska (eds), *The Dinosauria*, University of California Press, Berkeley, 456-483.
- Dumas E. (1876) - Statistique géologique, minéralogique, métallurgique et paléontologique du département du Gard, Arthus Bertrand, Paris, 735 p.
- Etheridge R. (1867) - On the stratigraphical position of *Acanthopholis horridus* (Huxley). *Geol. Mag.*, **4**, 67-69.
- Galton P.M. (1990) - Stegosauria. In: D.B. Weishampel, P. Dodson and H. Osmolska (eds), *The Dinosauria*, University of California Press, Berkeley, 435-455.
- Horner J.R. (1979) - Upper Cretaceous dinosaurs from the Bearpaw Shale (maine) of south-central Montana with a checklist of Upper Cretaceous dinosaur remains from marine sediments in North America. *J. Paleontol.*, **53**, 566-578.
- Huxley T.H. (1867) - On *Acanthopholis horridus*, a new reptile from the Chalk Marl. *Geol. Mag.*, **4**, 65-67.
- Knoll F., Buffetaut E., Dubus B. (1998) - Un ostéoderme d'ankylosaure (Ornithischia) dans l'Albien de l'Aube (France). *Bull. Assoc. Géol. Aubeoise*, **19**, 61-65.
- Landemaine O. (1991) - Sélaciens nouveaux du Crétacé supérieur du Sud-Ouest de la France. Quelques apports à la systématique des élasmobranches. *SAGA Information*, hors série 1, 45 p.
- Lecointre G. (1914) - Etude sur le Cénomaniens de Ciran (Indre-et-Loire). *Bull. Soc. géol. Fr.*, **14**, 104-115.
- Lecointre G. (1947) - La Touraine. Hermann, Paris, 250 p.
- Pereda-Suberbiola X. (1993) - Les dinosaures ankylosauriens d'Europe : systématique et évolution. Thèse Doc. Univ. Paris, 6, 302 p.
- Rasplus L. (1968) - Données stratigraphiques et structurales nouvelles sur la région de Loches (Indre-et-Loire). *Bull. BRGM*, Section 1, 3, 11-18.
- Rat P., Robaszynski F., Juignet P., Louall J., Moreau P., Deloffre R., Feuillée P., Souquet P., Rey J., Canerot J., Peybernès R., Bilotte M., Philip J., Porthault B., Charollais J. (1978) - La France au Cénomaniens : schémas paléogéographiques. *Géologie Méditerranéenne*, 5, 207-213.
- Rawson P.F., Curry D., Dilley F.C., Hancock J.M., Kennedy W.J., Neale J.W., Wood C.J., Worssam B.C. (1978) - A correlation of Cretaceous rocks of the British Isles. *Geol. Soc. London Spec. Rep.*, 9, 1-70.
- Sauvage H.E. (1882) - Recherches sur les reptiles trouvés dans le Gault de l'Est du bassin de Paris. *Mém. Soc. géol. Fr.*, (3), 2, 1-41.

# Table des matières 1998

## Contents 1998

### Géologie de la France, n° 1, 1998

Le Rhétien en région lyonnaise : analyse palynologique, par <b>B. Courtinat, F. Malartre, F. Giraud</b> ..... 3 <i>The Rhaetian near Lyons (France): a palynological study</i>	3
Approche sédimentologique du Bajocien supérieur-Bathonien inférieur du nord-ouest de la Bourgogne (sud-est du bassin de Paris) : dynamique sédimentaire et reconstitution paléogéographique d'un secteur d'une plate-forme carbonatée périthéthysienne, par <b>P.E. Pellenard, P. Thiry-Bastien, J. Thierry, B. Vincent</b> ..... 21 <i>Sedimentological approach to the Upper Bajocian-Lower Bathonian of northwestern Burgundy (Southeast Paris Basin): sedimentary dynamics and palaeogeographical reconstruction of part of a Peritethyan carbonate shelf</i>	21
Les formations détritiques miocènes, pliocènes et quaternaires entre le Massif central et la Sologne. Nouveaux éléments d'interprétation, par <b>J.P. Larue, R. Etienne</b> ..... 39 <i>The Miocene, Pliocene and Quaternary detrital deposits between the Massif Central and the Sologne (France). New interpretations</i>	39
Données chronologiques (mammifères et magnétostratigraphie) sur les dépôts plio-pléistocènes au toit du bassin de Valensole ; implications morphodynamiques, par <b>M. Dubar, J.P. Aguilar, J. Chaline, J. Michaux, F. Semah</b> ..... 57 <i>Chronological data (mammalian faunas, paleo-magnetism) on the Plio-Pleistocene deposits from the top of the Valensole Basin: morphodynamic implications</i>	57
Un lézard varanoïde (Squamata, Mosasauroida) dans le Crétacé supérieur de Touraine, par <b>N. Bardet, X. Pereda-Suberbiola, E. Metais</b> ..... 69 <i>A varanoid lizard (Squamata, Mosasauroida) from the Upper Cretaceous of Touraine</i>	69

### Géologie de la France, n° 2, 1998

Nouveau découpage stratigraphique des séries cambriennes des nappes de Pardailhan et du Minervois (versant sud de la Montagne noire), par <b>J.J. Alvaro, P. Courjault-Radé, J.J. Chauvel, M.P. Dabard, F. Debrenne, R. Feist, G.L. Pillola, E. Vennin, D. Vizcaino</b> ..... 3 <i>New Cambrian stratigraphic framework of the Pardailhan and Minervois nappes (southern Montagne Noire)</i>	3
Relationship between deformation, plutonism and regional metamorphism in the Markstein area (southern Vosges), par <b>K. Petrini, J.P. Burg</b> .... 13 <i>Relations entre déformation, plutonisme et métamorphisme régional dans la région de Markstein (Vosges du Sud)</i>	13
Interprétation nouvelle de la géométrie de l'accident du Vuache dans le Jura méridional : le relais de failles transpressif sénestre Léaz-Champfromier (Ain), par <b>M. Donzeau, R. Wernli, J. Charollais</b> ..... 25 <i>A new interpretation of the geometry of the Vuache Fault in the Southern Jura: the Léaz-Champfromier left-lateral transpressive fault-transfer zone (Ain Dept.)</i>	25
Age miocène des formations de bordure du fossé du Forez (Massif central), par <b>M.C. Gerbe, H. Gonord, N. Arnaud</b> ..... 47 <i>Miocene age of marginal deposits of the Forez basin (Massif Central)</i>	47
Particularités de l'évolution du système fluvial solognot dans le bassin de la Loire au Quaternaire. Corrélations possibles, par <b>S. Debrand-Passard, J.J. Macaire, L. Clozier, R. Fleury</b> ..... 55 <i>Particular evolution of the Sologne fluvial system within the Loire basin during the Quaternary. Possible correlations</i>	55

### Géologie de la France, n° 3, 1998

Introduction, par <b>Ph. Vidal</b> ..... 3	3
La croûte océanique et les points chauds de la Polynésie française (Océan Pacifique central), par <b>M. Munsch, C. Antoine, G. Guille, H. Guillou</b> ..... 5 <i>Oceanic crust and hot spots in French Polynesia (Central Pacific Ocean)</i>	5
Topographie des fonds océaniques de la Polynésie française : synthèse et analyse, par <b>A. Bonneville</b> ..... 15 <i>French Polynesia: synthesis and analysis of the oceanfloor topography</i>	15
Âges (K-Ar) et durées d'édification subaérienne des îles de Moorea, Raiatea et Maupiti (Société, Polynésie française), par <b>H. Guillou, S. Blais, G. Guille, R.C. Maury, A. Le Dez, J. Cotten</b> ..... 29 <i>Age (K-Ar) and duration of the subaerial build-up of Moorea, Raiatea and Maupiti (Society Islands, French Polynesia)</i>	29
Apports et limites de l'imagerie Spot et du modèle numérique de terrain pour l'étude du volcanisme intra-océanique : exemple des îles de Raiatea et de Tahaa (archipel de La Société, Polynésie française), par <b>O. Dauteuil, S. Blais, D. Miao, G. Guille, R.C. Maury</b> ..... 37 <i>Contribution and limitations of SPOT imagery and digital elevation models in studying oceanic volcanism: examples of Raiatea and Tahaa (Society Islands), French Polynesia</i>	37
L'île de Moorea (Société) : édification rapide d'un volcan-bouclier polynésien, par <b>A. Le Dez, R.C. Maury, H. Guillou, J. Cotten, S. Blais, G. Guille</b> ..... 51 <i>Moorea (Society Islands): rapid build-up of a Polynesian shield volcano</i>	51
L'île de Rurutu (archipel des Australes, Polynésie française) : une édification complexe liée au fonctionnement de deux points chauds, par <b>G. Guille, H. Guillou, C. Chauvel, R.C. Maury, S. Blais, R. Brousse</b> ..... 65 <i>Rurutu (Austral Islands, French Polynesia): a complex build-up linked to the activity of two hot spots</i>	65
La couverture carbonatée d'un atoll : exemple de Mururoa et Fangataufa, par <b>D.C. Buigues</b> ..... 87 <i>The carbonate cover of an atoll: example of Mururoa and Fangataufa</i>	87

### Géologie de la France, n° 4, 1998

Contribution au problème de la formation des dômes de la Zone axiale de la Montagne noire : analyse géométrique des plissements superposés dans les séries métasédimentaires de l'enveloppe. Implications pour tout modèle géodynamique, par <b>M. Demange</b> ..... 3 <i>Contribution to the problem of dome formation in the axial zone of the Montagne Noire: Geometric analysis of superposed folds in the metasedimentary outer cover. Implications for geodynamic models</i>	3
L'Éocène du Bassin sud-aquitain : lithostratigraphie, biostratigraphie et analyse séquentielle, par <b>K. Sztrák, J.P. Gély, A. Blondeau, C. Müller</b> ..... 57 <i>Eocene of the South Aquitaine Basin: lithostratigraphy, biostratigraphy and sequence stratigraphy</i>	57

VIENT DE PARAÎTRE AUX ÉDITIONS BRGM

DÉRIVE DES CONTINENTS  
PALÉOCLIMATS ET ALTÉRATIONS TROPICALES

par  
**Yves Tardy et Claude Roquin**

Les latérites composent l'épais manteau d'altération qui, dans le domaine intertropical, recouvre le substratum rocheux des vieux continents. Les sols tropicaux couvrent plus du tiers des terres émergées, alimentent une grande part des réserves forestières du monde et devraient faire vivre plus de la moitié de l'humanité. Le manteau latéritique est un laboratoire géochimique de concentration des substances utiles : aluminium, manganèse, nickel, métaux nobles et terres rares. Or, la couverture pédologique tropicale se développe aux dépens de matériaux latéritiques anciens, fruits d'une longue histoire climatique oscillante.

Depuis 150 millions d'années, la Pangée s'est fragmentée et tend à se construire à nouveau. Emportés par la dérive des plaques lithosphériques, les grands boucliers continentaux de l'Afrique, du Brésil, de l'Inde et de l'Australie se sont déplacés en latitude et ont traversé plusieurs zones climatiques en passant sous l'équateur, les tropiques ou les latitudes moyennes. Ainsi, au cours des temps phanérozoïques, les climats régionaux ont fluctué, allant et venant entre le chaud et le frais ou l'humide et l'aride. En même temps, le rythme de la tectonique des plaques induisait de fortes oscillations du climat global.

Finalement, les altérations tropicales, archives des fluctuations paléoclimatiques continentales, apparaissent aujourd'hui comme les témoins privilégiés des crises lointaines de notre environnement planétaire.

*Yves Tardy est Professeur de Géochimie, antérieurement à l'Université Louis Pasteur à Strasbourg et actuellement à l'Institut National Polytechnique de Toulouse. Claude Roquin est Chercheur au Centre de Géochimie de la Surface du CNRS, à Strasbourg. Depuis plus de 15 ans, ils étudient, avec leurs disciples, les climats, les paléoclimats et la dynamique des couvertures pédologiques.*

**Prix de vente : 300 F + 50 F** de frais de port et d'emballage pour la France et **60 F** pour l'Étranger.

**En vente chez votre libraire habituel ou aux Éditions BRGM** - BP 6009 - 45060 Orléans Cedex 2 - France - Tél. : 02 38 64 30 28.  
Fax : 02 38 64 36 82 accompagné de votre titre de paiement.

# ÉDITIONS BRGM



126 p., format 16 x 24 cm  
Réf. **MAN036**  
ISBN 2-7159-0880-6  
Prix 220 F

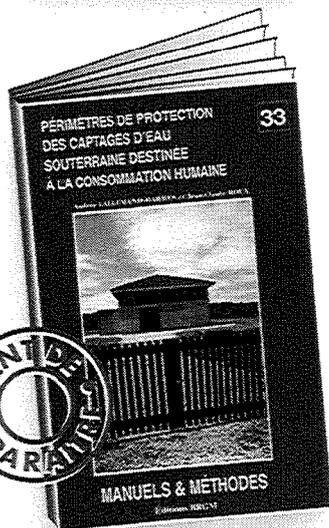
Jean Labourguigne - Jacques Ricour

## Amiante Aspects techniques et réglementaires

Le développement des technologies conduit l'Homme à être confronté en permanence à de nouveaux risques liés tant à la nature des produits qu'il élabore qu'à leur usage. Parmi ces nouveaux produits, si l'amiante a apporté durant de longues années une alternative permettant de réduire certains risques (notamment liés aux incendies), son exploitation et son usage inconsidérés ont été à la source de nombreux dommages humains qui ont conduit le législateur à limiter puis à interdire son usage en France, comme dans d'autres pays européens.

Rassembler l'essentiel des éléments qui concernent l'histoire, l'usage, la législation et les modalités de traitement des dommages matériels liés à l'amiante a paru nécessaire ; en effet, l'information des différents acteurs intervenant dans l'utilisation de ce produit est aujourd'hui indispensable dans le cadre d'une communication objective sur les risques qui sont associés à l'asbeste.

Collection : Manuels et Méthodes, n° 35



335 p., format 16 x 24 cm  
Réf. **MAN034**  
ISBN 2-7159-0875-X  
Prix 300 F

Andrée Lallemand-Barrès - Jean-Claude Roux

## Guide méthodologique et réglementaire d'établissement des périmètres de protection des captages d'eau souterraine destinée à la consommation humaine

Cet ouvrage a plusieurs objectifs :

- informer les élus, les ingénieurs des services techniques des collectivités et de l'administration sur les notions d'hydrogéologie, les risques de contamination des eaux souterraines et sur le contenu des études à remettre à l'hydrogéologue agréé en matière d'hygiène publique ;
- fournir une méthodologie aux ingénieurs d'étude et aux hydrogéologues agréés concernant les critères à prendre en compte pour le dimensionnement des périmètres et la nature des études préalables nécessaires pour acquérir les données essentielles ;
- donner une revue, mise à jour, de la réglementation nationale et internationale en matière de protection des captages publics d'eau souterraine destinée à la consommation humaine.

Collection : Manuels et Méthodes, n° 33



352 p., format 16 x 24 cm  
Réf. **MAN033**  
ISBN 2-7159-0874-1  
Prix 350 F

Sous la direction de Bernard Gérard

## Le littoral Problèmes et pratiques de l'aménagement

Entre les ouvrages généraux sur le littoral, les ouvrages de génie civil et les documents juridiques, il nous a paru utile de présenter sous la forme d'un manuel didactique un éventail d'approches pratiques des différents problèmes posés par l'aménagement du littoral. Après un premier chapitre consacré à la présentation des sédiments du littoral et à la façon de les étudier, plusieurs chapitres concernent l'étude et la protection des différents milieux qui constituent le littoral : plages, dunes, marais maritimes, falaises. Sont ensuite abordés les problèmes de surveillance des côtes, l'étude des aléas et risques naturels et les impacts biologiques sur l'environnement marin. Les derniers chapitres traitent de problèmes juridiques et de gestion : outils juridiques, conservation du littoral, enjeux économiques et environnementaux.

Collection : Manuels et Méthodes, n° 32



## Éditions BRGM

3, avenue Claude Guillemin Tél. : 02 38 64 30 28  
45060 ORLÉANS cedex 2 Fax. : 02 38 64 82 62

**A votre commande il faut rajouter 50 F de frais de port.  
(Catalogue gratuit sur simple demande)**

Impression et façonnage

**BRGM Service reprographie**

Dépôt légal : mai 1999

# Synthèse géologique et géophysique des Pyrénées

(volume 1)

Format 25 × 33,5 cm  
730 pages + 26 cartes  
**Prix : 850 F**  
20.000 Pesetas  
130 Euros

À l'heure européenne, les services géologiques français (BRGM) et espagnol (ITGE) ont coordonné une synthèse géologique et géophysique de la chaîne des Pyrénées et de ses avant-pays, rassemblant les contributions de très nombreux spécialistes académiques et industriels.



## Un premier volume

(156 auteurs, 11 chapitres, 730 pages, 465 figures, 109 tableaux et 26 cartes couleur en hors-texte), s'attache à décrire les **Pyrénées hercyniennes**.

Il traite d'abord des apports récents de la géophysique à la connaissance des structures profondes et au contexte cinématique des plaques. Il examine ensuite les terrains paléozoïques pour en dégager la dynamique, malgré l'importance de la déformation et du métamorphisme alpin et remettre les Pyrénées hercyniennes à leur place dans le cycle varisque.

Un second volume (à paraître), traitera des Pyrénées « alpines », en relation avec les déplacements mésozoïques et cénozoïques des microplaques du sud-ouest de l'Europe.



## BON DE COMMANDE

A remettre à votre libraire habituel ou à transmettre aux  
Éditions BRGM - BP 6009 - 45060 ORLÉANS cedex 2 - France

• Veuillez me faire parvenir :	PRIX UNITAIRE	QUANTITÉ	TOTAL
<b>Synthèse géologique et géophysique des Pyrénées</b> (vol. 1) Réf. MB129 - ISBN 2-7159-0797-4	850 FF .....		
Frais de port et d'emballage	75 FF (France) ..... 85 FF (Étranger) .....		
		<b>TOTAL</b>	

Chèque postal  
 Chèque bancaire

**Carte bancaire**  
 Visa  
 Eurocard  
 Mastercard

Avec votre carte de paiement

(N'oubliez pas d'inscrire son n° et de signer)

Date d'expiration de votre carte bancaire

SIGNATURE

Chèque de prépaiement de \_\_\_\_\_  
joint à la commande

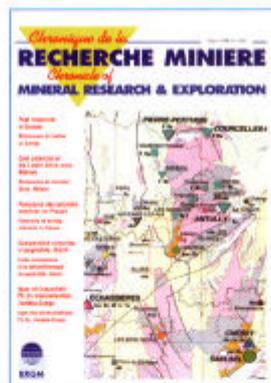
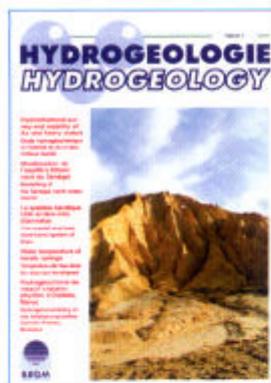
Date : \_\_\_\_\_  
Signature : \_\_\_\_\_

Adresse d'expédition\* \_\_\_\_\_

Adresse de facturation\* \_\_\_\_\_

\* Dans le cas où elle est différente de l'adresse du client.

\* Dans le cas où elle est différente de l'adresse d'expédition.



Revue scientifique et technique, Hydrogéologie est destinée aux spécialistes de l'eau souterraine : chercheurs conduisant des travaux sur les processus hydrodynamiques et géochimistes, modélisateurs, ingénieurs et praticiens de la prospection, de l'exploitation et de la gestion des nappes. Dédiée à un seul objet, l'eau souterraine et ses interfaces, Hydrogéologie publie des travaux concernant aussi bien les milieux de climat tempéré que les zones tropicales et arides.

Les articles peuvent porter sur des avancées dans la connaissance fondamentale et son application, des présentations de nouveaux outils, des études de cas ou encore des synthèses thématiques ou régionales. Régulièrement, la revue publie des numéros thématiques. Elle procède également à des analyses d'ouvrages et à des présentations de séminaires et colloques.

*Hydrogeology is a scientific and technical journal aiming at ground-water specialists, including researchers studying hydrodynamic processes, and geochemists, modellers, engineers and technicians prospecting for, exploiting or managing groundwater. Entirely devoted to ground water and related subjects, Hydrogéologie publishes papers on topics in temperate as well as in tropical and arid zones.*

*Papers may cover advances made in fundamental knowledge and their applications, introduce new tools, discuss case histories or review particular themes or regions. The journal publishes entire issues devoted to specific themes on a regular basis. It also presents book reviews and covers seminars and conferences.*

**Prix de vente au numéro :**

Année en cours et année précédente : 190 F

Année antérieure (réduction de 50 %) : 95 F

**Règlement par chèque bancaire libellé au nom des Éditions BRGM - B.P. 6009 45060 Orléans cedex 2**

La Chronique de la recherche minière s'adresse aussi bien aux scientifiques qui font progresser les connaissances fondamentales sur la géologie des gîtes minéraux qu'aux géologues d'exploration.

Les contributions proposées à la revue doivent être inédites et traiter de sujets relatifs aux gisements de métaux et de minéraux industriels (descriptions de gisements, synthèses régionales ou thématiques, case histories de découvertes) et à leur prospection (méthodes et outils d'exploration) ; elles peuvent également concerner les méthodes de traitement et l'économie minière.

A côté des articles scientifiques, les communications scientifiques et techniques sont destinées à favoriser la publication rapide de résultats nouveaux sur des sujets qui n'ont pas encore fait l'objet d'études scientifiques détaillées (par exemple une découverte de gisement), ou pour présenter de courtes contributions sur des sujets techniques d'intérêt général.

*Chronicle of Mineral Research and Exploration is a journal aiming at both researchers studying the fundamental geology of mineral deposit, and at exploration geologists.*

*Contributions to the journal must not have been previously published and should cover topics relating to metalliferous and industrial mineral deposits (descriptions of deposits, regional and thematic reviews, case histories discoveries) and their exploration (methods and tools used); contributions will also be welcome on methods of processing and on mining economics.*

*In addition to scientific papers, the journal publishes scientific and technical communications aimed at enabling rapid publication of new results relating to work which has not yet been the subject of detailed scientific study (for example, the discovery of a deposit), or at providing short contributions on technical subjects of general interest.*

Destiné aux chercheurs, enseignants, praticiens, tout public français ou étranger, Géologie de la France a pour vocation de diffuser les résultats de travaux relevant de toutes les disciplines des Sciences de la Terre et concernant le territoire français et les régions voisines.

Ces travaux peuvent relever de la connaissance géologique de base, correspondre à des actions de recherche ou être liés à des opérations de géologie appliquée.

L'objectif est d'appréhender tous les aspects de la géologie du substrat comme ceux de la surface. La prise en compte des régions voisines traduit le souci de ne pas être lié à des limites administratives mais de favoriser la compréhension d'ensembles géologiques cohérents.

Géologie de la France est ouvert à tous, auteurs français et étrangers. La revue accueille tout à la fois des articles importants et des notes brèves.

*Geology of France is a journal aiming at researchers, teachers, those to whom the knowledge of geology is essential to their work and the general interested public in France and elsewhere. It is devoted to the publication of results of projects related to all disciplines of the Earth Sciences, both in France and in its surrounding regions.*

*Papers may cover fundamental geological knowledge, or be related to specific research or applied geology programmes.*

*The aim is to cover all aspects of both sub-surface and surface geology. By including surrounding regions, studies need but can take into account entire, without the restriction of national boundaries.*

*The journal welcomes publications from both French and other authors, both full-length papers and short notes.*

**Abonnement 1999 :**

Abonnement par revue :

France : 650 F

Étranger : 700 F

Abonnement aux 3 revues, 12 numéros

France : 1800 F

Étranger : 1900 F

Chèque à établir à l'ordre de : Éditions BRGM, 3, avenue Claude Guillemin, B.P. 6009, 45060 Orléans cedex 2, France

ISSN 0246-0874 © Éditions BRGM - BP 6009  
45060 Orléans Cedex 2 - France  
Directeur de la publication : Gérard Sustrac  
Commission paritaire : N° 627 ADEP  
Dépot légal : 1<sup>er</sup> trimestre 1999  
Imprimerie : BRGM Service Reprographie



9 780246 087409