Observations à la note de P. Freytet, F. Baltzer, Y. Dewolf, A. Freytet, J.C. Koeniguer, J.C. Plaziat, A. Plet et M. Rumelhart*:

Découverte de mollusques d'eau douce stampiens (Oligocène) et de traces de racines silicifiés au sommet des Grès de Fontainebleau près de Magny-les-Hameaux (Yvelines) ; implications paléoécologiques et conséquences sur l'âge de la grésification**

Comments on the paper by P Freytet, F. Baltzer, Y. Dewolf, A. Freytet, J.C. Koeniguer, J.C. Plaziat, A. Plet et M. Rumelhart:

Occurrence of silicified freshwater (Stampian, Oligocene)
molluscs and root traces in the uppermost part of
the Fontainebleau Sandstones near Magny-les-Hameaux (Yvelines);
paleoecological implications and consequences concerning the age of silicification

Médard THIRY (1), Mireille BERTRAND-AUDEBERT (2), Jean-Claude GRISONI (3), François MÉNILLET (4) et Jean-Michel SCHMITT (1)

Géologie de la France, n° 1, 1997, pp. 47-55, 5 fig.

Mots-clés : Silicification, Âge, Grès Fontainebleau, Stampien, Yvelines.

Key words: Silicification, Age, Fontainebleau Sandstones, Stampian, Yvelines.

Résumé

Contrairement à la conclusion des auteurs, les observations présentées ne remettent nullement en cause le modèle de silicification des Sables de Fontainebleau après le dépôt des culcuires de la couverture par écoulement de nappes phréatiques.

Abstract

Contrary to the authors' conclusions, the observations presented in this note do not invalidate the model by which the silicification of the Fontainebleau Sandstones resulted from the flow of phreatic groundwater following the deposition of the limestone cover.

Dans leur note récente, Freytet *et al.* (1995) tirent argument de la disposition des dalles silicifiées et de la silicification de mollusques et de traces de racines au

sommet des Grès de Fontainebleau pour démontrer la "précocité" de la silicification et remettre en cause le modèle de genèse des Grès de Fontainebleau après dépôt de la couverture calcaire, par écoulement des nappes aquifères lors de l'entaille des vallées (Thiry et al., 1988 a et b; Thiry et Bertrand-Ayrault, 1988). Sans remettre en cause les observations faites par les auteurs, et qui ne sont pas toutes nouvelles, il faut rediscuter leurs interprétations, en particulier celles relatives à la datation de la silicification.

La description des figures sédimentaires préservées au sein des grès

Des traces de racines préservées au sein des grès ont déjà été décrites plusieurs fois (Ellenberger, 1982; Thiry et Bertrand-Ayrault, 1988; Plaziat *et al.*,

1989; Thiry et al., 1995). Elles sont visibles en de nombreuses localités depuis les régions au nord de la Seine (carrière de Breuil-en-Vexin), jusque dans le sud du Hurepoix (carrières d'Etampes, Maisse, Bourron-Marlotte, Butteaux, ...). Ce sont de bons indicateurs d'émersion. De plus, les manchons carbonatés précipités autour des racines indiquent un paléoclimat relativement sec, de type méditerranéen.

Les fossiles lacustres présents au sommet de la formation précisent que le lac s'est installé dans un paysage et sur un substratum sableux. Dans d'autres localités, comme à Maisse, on voit les premiers dépôts de calcaire lacustre fossilifères recouverts par 5 mètres de sables dunaires qui viennent envahir les premières dépressions lacustres (Thiry et al., 1995). Ce sont là aussi de bons indicateurs de paléoenvironnements.

Note parue dans Géologie de la France, n° 4, 1995, pp. 27-36.

^{**} Manuscrit reçu le 17 juin 1996.

⁽¹⁾ École des Mines, Centre Informatique Géologique, 35 rue Saint Honoré, 77305 Fontainebleau.

⁽²⁾ Lycée Couperin, Route Hurtault, 77300 Fontainebleau.

⁽³⁾ Laboratoire Régional de l'Ouest Parisien, 12 rue Teisserenc de Bort, 78195 Trappes Cedex.

⁽⁴⁾ BRGM, Service Géologique Régional, 15 rue du Tanin, Lingolsheim, BP 177, 67834 Tanneries Cedex.

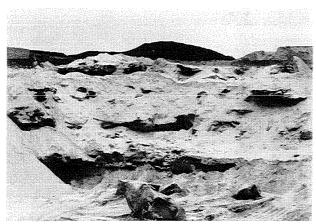


Fig. 1.- Dalles et lentilles de grès ou gogottes (de 0,5 à 3 m d'allongement) disposées suivant quatre niveaux superposes. Carrière de Marlanval (Seine-et-Marne). Hauteur du front de taille : environ 8 m.

Fig. 1.- Sandstone slabs and lenses or 'gogottes' (from 0.5 to 3 m long) arranged in four superposed layers. Marlanval quarry (Seine-et-Marne). The quarry face is about 8 m high.

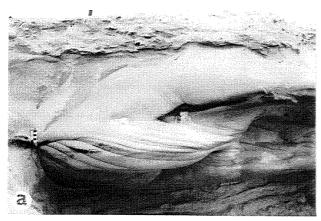




Fig. 2.- Dalles de grès avec figures "mamelonnées" résultant d'une aggradation de la dalle de grès par des "enveloppes" successives. (a) - Carrière de Marlanval (Seine-et-Marne), échelle 5 cm. (b) - Carrière de Breuil-en-Vexin (Yvelines), vue par au-dessus, échelle 5 cm.

Fig. 2.- Sandstone slahs showing hotryoidal growth structures resulting from the addition of successive layers to the slabs. (a) Marlanval quarry (Seine-et-Marne), scale 5 cm. (b) Breuil-en-Vexin quarry (Yvelines), view from above, scale 5 cm.

Les figures "mammelonnées", "concrétionnées" ou "bothrioïdales" décrites au sommet de la dalle gréseuse sont des figures très fréquentes dans les Grès de Fontainebleau. Elles sont surtout

visibles en carrière, plus rarement dans les affleurements (Maréchal, 1995). La géométrie de ces figures et la façon dont elles se succèdent sont particulièrement bien visibles dans les silicifications en masses arrondies, appelées "gogottes" (Guillemin, 1978), visibles dans pratiquement toutes les carrières de Sables de Fontainebleau.

L'interprétation des affleurements de grès

La superposition de dalles de grès est indiscutable dans les coupes visibles dans la majorité des carrières d'exploitation des sables (fig. 1). Mais, l'interprétation des affleurements de grès, chaos éboulés ou dalles en place, et la cartographie des dalles ne sont jamais aisées, même autour des carrières qui montrent plusieurs dalles superposées comme à Bourron-Marlotte. Pour reconnaître les chaos des blocs sub-en place, il faut prendre en considération la morphologie des blocs qui évolue très vite quand ils s'éboulent sur les talus sableux. On reconnaît alors des formes typiques, dômes avec "croûte" de silicification secondaire au sommet, parties surcreusées, fractures silicifiées, réseaux polygonaux, etc., résultant de l'altération très rapide des grès à l'affleurement (Thiry et al., 1984). En revanche, la reconnaissance des morphologies "primaires", semblables à celles qu'on observe en carrière, comme les conduits horizontaux, les figures mamelonnées, etc., et un arrangement de type labyrinthe sont de bons indicateurs de la proximité de l'affleurement. En descendant le long d'un flanc de vallée ou de plateau, le passage de blocs à morphologies d'altération à des blocs à morphologies "primaires" (souvent sub-jointifs ou alignés suivant un niveau) est un bon critère pour révéler la présence d'une dalle de cote moins élevée. C'est en tout cas ce que montrent les affleurements au voisinage des carrières exploitées.

Ce sont ces critères qui nous ont permis de cartographier les dalles dans le secteur de Magny-les-Hameaux (Thiry et al., 1988). Mais, si la cartographie de dalles superposées est difficile, elle doit néanmoins être tentée, pour apporter des éléments de réflexion sur la disposition et la géométrie des dalles superposées à l'échelle régionale. La superposition des dalles est un phénomène général, visible dans pratiquement toutes les carrières, tant dans les régions méridionales que septentrionales d'affleurement des Sables de Fontainebleau, on ne voit pas pourquoi il en serait autrement à l'affleurement.

L'interprétation des silicifications

Les figures "mamelonnées" ou "concrétionnées" que montrent les grès résultent d'un mécanisme d'aggradation de la dalle de grès (fig. 2). Ce sont des "feuillets" ou des "enveloppes" de grès de 1 à 3 cm d'épaisseur qui se recouvrent les unes les autres (Maréchal, 1995). Quelquefois ces enveloppes successives sont visibles à l'intérieur des grès, soulignées par des franges ou cortex plus fortement silicifiés (fig. 3). Mais, le plus souvent la continuité de ces structures n'est pas visible au sein du grès. Les enveloppes sont mises en relief en bordure des dalles par des dissolutions différentielles dues à des variations dans la cimentation des grès (fig. 4). Elles correspondent à des couches ou enveloppes successives de silicification qui viennent grossir ou "aggrader" une première silicification.

Quel que soit le mécanisme de silicification, la faible solubilité de la silice implique qu'il est nécessaire de renouveler les solutions nourricières au fur et mesure que la silice précipite. Ceci n'est possible que par croissance "centrifuge" des corps silicifiés. En effet, on ne peut pas envisager de cimenter en une seule "phase" les sables correspondant à l'épaisseur d'une dalle de grès. Le début de la cimentation réduirait la porosité et empêcherait le renouvellement des solutions. La silicification se fait autour de noyaux silicifiés par cimentation de couches successives qui se recouvrent les unes les autres en discordance.

L'arrangement spatial des enveloppes successives rend compte de l'écoulement des solutions nourricières. En particulier, leur disposition autour de "dépressions" coniques qui correspondent à l'emplacement (enracinement) d'une plante herbacée" indique que les solutions nourricières ont à un moment donné emprunté ces structures racinaires qui présentaient vraisemblablement une porosité primaire plus importante. Des figures similaires existent autour des terriers de crustacés (genre Ophiomorpha) quand ceux-ci sont pris en écharpe par la dalle de grès (carrière des Gondonnières, Larchant).

Quel que soit le mécanisme de silicification envisagé, de nappe ou par

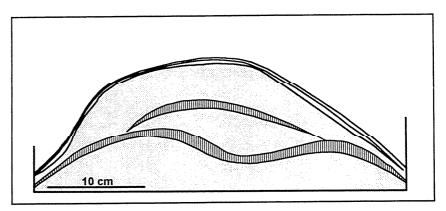


Fig. 3.- Zonation des grès soulignée par une frange "sursilicifiée", d'aspect gras, dépourvue de porosité. Les zones successives montrent une croissance de la silicification par adjonction d'enveloppes silicifiées. Fig. 3.- Zoning in the sandstone marked by a greasy-looking, non-porous, "super-silicified" fringe. The zoning reflects growth through the addition of successive silicified layers.

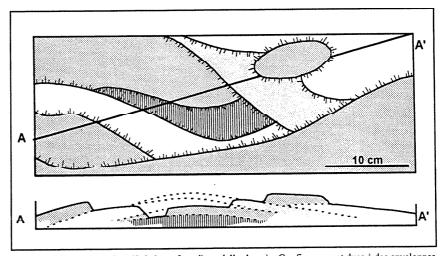


Fig. 4.- Aspect "mammelonné" de la surface d'une dalle de grès. Ces figures sont dues à des enveloppes silicifiées successives qui matérialisent la "croissance" centrifuge de la silicification. Le plus souvent aucune structure n'est visible à l'intérieur de la dalle.

Fig. 4.- Botryoidal structures on the surface of a sandstone slab. These structures are due to successive silicified layers reflecting centrifugal "growth" of the silicification. Generally, the slabs show no internal structure

concentration des solutions par évaporation, ces morphologies "bothrioïdales" ou ces enveloppes ne donnent par ailleurs aucune indication sur la vitesse des phénomènes. Le "concrétionnement" peut être très rapide ou au contraire très lent : il dépend de la cinétique de précipitation du minéral ainsi que de l'état de saturation et du débit de la solution nourricière. On peut citer le cas de "concrétions" d'oxydes de manganèse de paléosols du Brésil et d'Australie qui montrent une croissance centimétrique sur un à plusieurs millions d'années (Dammer, 1995; Dammer et al., 1995)! Le "concrétionnement" n'a aucune raison d'être plus rapide qu'une cristallisation macroscopique!

La silicification des fossiles et l'âge des silicifications

Pour demontrer la "précocité" des silicifications, les auteurs avancent le fait que dans les dunes littorales actuelles "les débris végétaux sont très rapidement détruits et les coquilles de mollusques non moins vite fragmentées et dissoutes". Hormis le fait que cette observation ne constituc pas un argument en elle même et qu'elle peut s'appliquer à tous les fossiles dans tous les types d'environnement, cette interprétation se heurte ici à plusieurs contradictions.

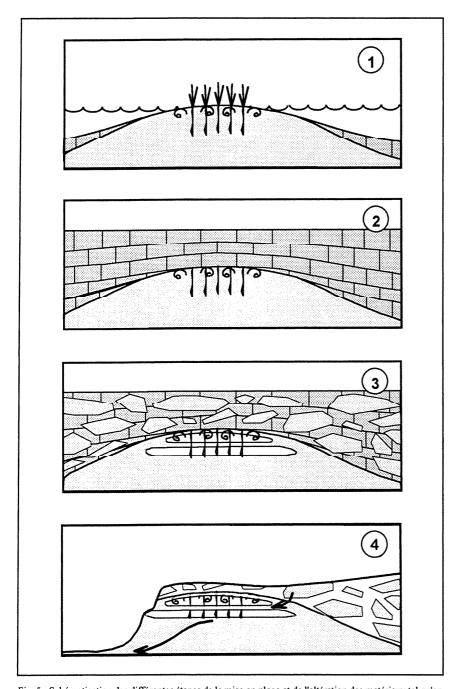


Fig. 5.- Schématisation des différentes étapes de la mise en place et de l'altération des matériaux tel qu'on peut les déduire de la description de la coupe de Magny-les-Hameaux. 1) Dépôt des coquilles et formation de manchons calcaires autour des racines, au sommet des anciennes dunes lors de leur ennoiement par le lac de Beauce. 2) Fossilisation et recouvrement par les calcaires lacustres. 3) Silicification des sables formant les dalles de grès. Les calcaires de la couverture sont eux-mêmes silicifiés avant leur remise à l'affleurement. 4) Altération des calcaires silicifiés en Argiles à Meulières et mise à l'affleurement des sables et des grès par incision des vallées. Les percolations d'eau en provenance de la couverture décalcifiée, lessivent les sables et dissolvent les fossiles et les manchons calcaires qui ne sont pas inclus dans la dalle silicifiée.

Fig. 5.- Schematic representation of the successive steps that led to the development of the features described in the Magny-les-Hameaux section. 1) Deposition of mollusc shells and formation of carbonate sleeves around roots at the top of old dunes being drowned by the Beauce lake. 2) Fossilization and burial by lacustrine limestone. 3) Silicification of the sand with formation of sandstone slabs. The overlying limestone was also silicified before being exposed. 4) Weathering of the silicified limestone to form the 'Argiles de Meulières' and exposure of the sands and sandstone through valley incision. Percolation of water from the decalcified cover leaches the sand and dissolves fossils and carbonate sleeves not incorporated in the silicified slabs.

- 1) Les débris de végétaux ne sont pas silicifiés ; ils ont été détruits avant silicification, puisque c'est le vide laissé par leur altération au sein des manchons calcaires qui est cimenté par des concrétionnements de calcédonite.
- 2) Si les éléments calcaires sont rapidement dissous dans les dunes littorales sous les climats océaniques de nos contrées, il n'en est pas de même sous d'autres latitudes. Au contraire, sous des climats plus secs, non seulement les débris de coquille sont préservés, de plus ce sont des encroûtements calcaires, pédologiques et/ou de nappe, qui se forment au sein des dunes, comme le montrent de nombreux exemples en Australie (Arakel, 1982; Milnes et Hutton, 1983; Phillips et Milnes, 1988; Milnes, 1992), mais aussi en Namibie, en Afrique du Sud, en Tunisie, en Oman, en Inde, ... (Goudie, 1973; Gardner et McLaren, 1993; McLaren, 1993).
- 3) Au moment du dépôt des coquilles, l'environnement n'est plus de type dunaire, mais lacustre ou palustre. Le lac vient progressivement ennoyer les dunes et les recouvrir. Le contexte n'est plus lessivant, les sédiments au niveau du lac, ou sous l'eau, sont saturés.

Enfin, le remplacement ou l'épigénie de coquilles calcaires par la silice n'implique nullement que la silicification soit précoce. Les coquilles peuvent être silicifiées bien longtemps après le dépôt. Parmi les nombreux auteurs qui ont traité de la silicification des carbonates en général, ou plus spécialement des fossiles, aucun n'en a jannais tiré argument pour démontrer que la silicification est précoce (Wells, 1983; Maliva et Siever, 1988; Arakel et al., 1989; Maliva, 1992). Elle peut intervenir à n'importe quel moment de l'histoire de la roche.

Les faits décrits comme les illustrations présentées par les auteurs ne montrent aucune évidence d'une silicification précoce. La silicification suit la formation des manchons calcaires et le dépôt des coquilles, sans qu'il y ait là un argument de datation absolue ou de durée.

La dissolution des carbonates dans les passées sableuses entre les "masses" silicifiées superposées, ne peut pas davantage fournir un argument de datation des silicifications. La dissolution des carbonates dans les sables non silicifiés, et donc perméables, est postérieure à la silicification, mais il n'y a là qu'une succession d'événements et des âges relatifs. Ce lessivage des sables peut être mis en relation avec les profils d'altération qui montrent une altération et une dissolution des dalles de grès et des galets de silex au sommet des sables (Thiry et al., 1984; Thiry et al., 1988; Bariteau, 1996). La succession des événements peut être résumée ainsi (fig. 5):

- 1) dépôt des coquilles et formation des manchons calcaires.
- 2) fossilisation et enfouissement de ces structures sous la couverture calcaire,
- 3) silicification des sables (et éventuellement silicification concomitante des calcaires de la couverture ?),
- 4) incision de la vallée et lessivage des sables par les eaux de percolation qui dissolvent les éléments calcaires non silicifiés (et éventuellement formation des argiles à meulières à partir des calcaires silicifiés de la couverture ?).

Conclusion

La présence de mollusques d'eau douce silicifiés et de traces de racines conservées dans les Grès de Fontainebleau n'implique nullement une silicification précoce. Elle ne remet pas en cause et ne permet pas de rejeter le modèle de silicification de nappe pour la formation des Grès de Fontainebleau.

Le modèle de silicification de nappe s'appuie sur le fait que les grès n'existent qu'en bordure des vallées et qu'ils disparaissent rapidement sous la couverture calcaire des plateaux. Cette répartition des silicifications a été mise en évidence à partir de l'analyse de près de 400 sondages (Thiry et al., 1988) et a été con firmée récemment par le dépouillement de 200 sondages supplémentaires provenant de différentes campagnes d'exploration géophysique. Cette distribution régionale des grès n'est pas remise en cause par les auteurs de la note qui est

discutée. L'absence de grès siliceux sous les plateaux calcaires rend extrêmement improbable un modèle de silicification précoce, antérieur au dépôt de la couverture calcaire. La liaison étroite entre les grès et les reliefs actuels suggère au contraire une silicification à une époque relativement récente, au voisinage des zones d'affleurement des sables. A l'heure actuelle, seul le modèle de silicification par écoulement des nappes phréatiques vers les vallées permet d'expliquer cette distribution des grès.

Réflexion autour d'une controverse

Depuis bientôt 10 ans que le modèle de silicification de nappe pour les Grès de Fontainebleau a été proposé (Thiry et al., 1988), la controverse n'a pas cessé. Il y eut d'abord l'opposition "autoritaire" d'un relecteur à la publication de la note au Bulletin de la Société géologique de France, puis l'organisation d'une réunion autour de ce thème par l'Association des Géologues du Bassin de Paris, enfin une tournée commune des différents protagonistes sur le terrain. Tout cela n'a pas permis d'obtenir un consensus sur certains faits qui paraissent incontournables.

Différentes notes ont remis en cause le modèle en se basant sur des observations locales et des interprétations "biaisées". Des carbonates qui devaient démontrer l'âge stampien des silicifications se sont révélés être des carbonates récents, d'infiltration, après datation au C14 (Thiry, 1990). Le remaniement des grès dans des alluvions du Pliocène terminal a été avancé pour montrer que les silicifications ne peuvent pas être d'âge plio-quaternaire (Thiry, 1995) ! D'autres notes sont apparues tellement "touffues" qu'il nous était impossible d'y répondre clairement. C'est aujourd'hui la succession de silicifications et de décarbonatations qui est avancée pour montrer la "précocité" de la silicification.

Aucune de ces notes n'a remis en cause les faits qui sont à la base du modèle de silicification de nappe et qui nous

paraissent incompatibles avec une silicification précoce, avant le dépôt de la couverture calcaire : à savoir l'absence de grès sous les plateaux calcaires et la localisation des grès en bordure des vallées actuelles. Si ces faits ne sont pas remis en cause, tout nouveau modèle de silicification des Sables de Fontainebleau doit les prendre en compte et les expliquer.

Une telle querelle autour d'un sujet "scientifique" interpelle. Elle révèle surement un dysfonctionnement de la science, ou plutôt de la "machinerie" scientifique. Mais, le plus grave à nos yeux est le "blocage" que constituent ces remises en causes périodiques. En continuant de travailler autour du modèle de silicification de nappe, nous savons que son intérêt va bien au-delà de la silicification des Grès de Fontainebleau. C'est là un "modèle" extrêmement "fortile" pour les silicifications, mais aussi pour comprendre l'hydrogéochimie des nappes aquifères, différencier ce qui revient aux faciès de dépôt et aux altérations dans de nombreuses formations du bassin de Paris et ailleurs. Mais toutes les perspectives et les idées nouvelles qui peuvent en sortir sont pour l'instant "bloquées" par le doute instauré par des "contre publications" successives qui n'ont pas non plus proposé un autre modèle de silicification viable sur le plan géochimique. C'est sûrement là, l'aspect le plus regrettable de cette controverse. Cette controverse révèle un refus de remise en cause des certitudes acquises dans le passé et que l'on pensait éternelles. On peut à ce sujet citer l'analyse d'un sociologue de la science.

"Il est courant de croire que, si les scientifiques se sont souvent trompés dans le passé, nos connaissances actuelles, elles, sont solides. Il s'agit là d'une illusion, liée à ce qu'un sociologue de la science appelle l'ethnocentrisme du présent. En réalité, l'hérésie d'hier est devenue l'orthodoxie d'aujourd'hui, qui elle-même sera peut-être corrigée demain."

Michel Schiff

Un cas de Censure dans la science. L'affaire de la mémoire de l'eau.

1994, Albin Michel

Références

ARAKEL A.V., JACOBSON G., SALEHI M., HILL C.M. (1989) - Silicification of calcrete in paleodrainage basins of the Australian arid zone. Austr. J. Earth Sci., 36, 73-89.

ARAKEL A V (1982) - Genesis of calcrete in Quaternary soil profiles, Hutt and Leeman Lagoons, Western Australia J. Sediment. Petrol., 52, 109-125

Bariteau A. (1996) - Modélisation géochimique d'un aquifère : la nappe de l'Oligocène en Beauce et l'altération des Sables de Fontainebleau. Thèse Doct., Ecole des Mines de Paris, 165 p.

DAMMER D. (1995) - Geochronology of chemical weathering processes in the northern and western Australian regolith. PhD, Austr. Nat. Univ., Canberra.

DAMMER D., CHIVAS A.R., McDougall I. (1995) - Weathering history of the Australian regolith: K-Ar and "Ar" Ar dating of surficial K-Mn oxides and alunites. 16th Regional Meeting of Sedimentology, Aix-les-Bains, Abstract book, ASF, 22, Paris, 49.

FREYTET P., BALTZER F., DEWOLF Y., FREYTET A., KOENIGUER J.C., PLAZIAT J.C., PLET A., RUMELHART M. (1995) - Découverte de mollusques d'eau douce stampiens (Oligocène) et de traces de racines silicitiés au sommet des Grès de Fontainebleau près de Magny-les-Hameaux (Yvelines) ; implications paléoécologiques et conséquences sur l'âge de la grésification. Géologie de la France, n° 4, 27-36.

GARDNER R.A.M., McLaren S.J. (1993) - Progressive vadose diagenesis in late Quaternary aeolinite deposits ? In: Pye K. (Ed), The dynamics and environmental context of aeolian sedimentary systems. Geol. Soc. Spec. Publ., 72, 219-234.

GOUDIE A. (1973) - Duricrust in tropical and subtropical landscapes. Oxf. Research Stud. In Geogr., Clarendon Press, 174 p.

GUILLEMIN C. (1978) - Evolution de la «minéralogie des gens du monde». Bull. Minéral., 101, 124-132.

MALIVA R.G. (1992) - Selective silicification of fossils by syntaxial overgrowths on quartz sand, oriskany Sandstone (Lower Devonian), New york. Sedimont. geol., 78, 165-170.

MALIVA R.G., SIEVER R. (1988) - Mechanism and controls of silicification of fossils limestnes. J. Geol., 96, 387-398.

MARÈCHAL B. (1995) - Etude de la cimentation des grès de Fontainebleau par cathodoluminescence et analyse d'images. Rapport Ecole des Mines, LHM/RD/95/17, 52 p.

McLaren S.J. (1993) - Use of cement types in the palaeoenvironmental interpretation of coastal aeolianite sequences. In: Pye K. (Ed), The dynamics and environmental context of aeolian sedimentary systems. Geol. Soc. Spec. Publ., 72, 235-244.

Milnes A.R. (1992) - Calcrete. In: I.P. Martini and W. Chesworth (eds), Weathering, soils & paleosols. Elsevier, Dev. in Earth Surface Processes, 2, 309-347.

MILNES A.R., HUTTON J.T. (1983) - Calcretes in Australia. In: Soils: An Australian viewpoint. CSIRO, Melbourne/Academic Press, London, 119-162.

PHILLIPS S.E., MILNES A.R. (1988) - The Pleistocene terrestrial carbonate mantle on the southeastern margin of the St Vincent Basin, South Australia. Aust. J. Earth Sci., 35, 463-481.

PLAZIAT J.C., KOENIGUER J.C., MAESTRATI P., POISSON A. (1989) - Les critères d'environnements marins et continentaux dans les sables de Fontainebleau (Stampien du Bassin de Paris). 114e Congr. nat. Soc. sav., Paris, Géol. Bassin Parisien, 119-142.

THIRY M. (1990) - Observations à la note de D. Obert : sur l'âge stampien de la grésification des Sables de Fontainebleau. Dull. Inf. Géol. Dassin Paris, 27/2, 31-34

THIRY M. (1995) - Observations à la note de Y. Dewolf, P. Freytet, A. Plet, A. Couradin et F. Sylvestre : âge anté-quaternaire des grésifications des sables de Fontainebleau (Stampien) au sommet de la Butte de Trin (Seine et Marne, Bassin de Paris). Géologie de la France, n° 3, 57-59.

THIRY M., PANZIERA J.P., SCHMITT J.M. (1984) - Silicification et désilicification des grès et des sables de Fontainebleau. Evolutions morphologiques des grès dans les sables et à l'affleurement. Bull. Inf. Géol. Bassin Paris, 21, 2, 23-32.

THIRY M., BERTRAND AYRAULT M., GRISONI J.C. (1988).- Ground-water silicification and leaching in sands: Example of the Fontainebleau Sand (Oligocene) in the Paris Dasin. Geol. Soc. Amer., Bull., 100, 1283-1290.

THIRY M., BERTRAND AYRAULT M., GRISONI J.-C., MÉNILLET F., SCHMITT J.M. (1988) - Les Grès de Fontainebleau : silicifications de nappes liées à l'évolution géomorphologique du bassin de Paris durant le Plio-Quaternaire. Bull. Soc. géol. Fr., (8), 4, 419-430.

Thiry M., Rertrand Avrault M. (1988)- Les grès de Fontainebleau : genèse par écoulement de nappes phréatiques lors de l'entaille des vallées durant le Plio-Quaternaire et phénomènes connexes. Bull. Inf. Géol. Bassin Paris, 25, 4, 25-40.

THIRY M., COJAN I., AUDEBERT M. (1995) - Anciens paysages dunaires au sommet des Sables de Fontainebleau (carrière de Maisse, Essonne). Bull. Ass. Nat. Vallée du Loing et du Massif de Fontainebleau, 71/4, 165-173.

Wells N.A. (1983) - Carbonate deposition, physical limnology and environmentally controlled chert formation in Paleocene-Eocene Lake Flagstaff, central Utha. Sediment. Geol., 35, 263-296.

Réponse de Pierre Freytet, Jean-Claude Koeniguer et Albert Plet*

Nous répondrons brièvement à ces observations, car il n'y a rien de nouveau par rapport aux arguments initiaux.

Sur des points de détail

- Les manchons calcaires ne se forment pas en milieu noyé (phréatique), mais sous l'influence d'une nappe aquifère oscillante (Freytet et Plaziat, 1982). Ils ne sont pas caractéristiques d'un climat particulier (Freytet et al., 1996).

La distinction entre ciment pédolo gique (vadose) et figures diagénétiques (ciment phréatique) est facile à faire en lame mince (Freytet et al., 1994).

- Les cas de silicification ultra-précoce sont bien connus dans la littérature : débris végétaux (Schopf, 1975 : Koeniguer, 1992), filaments algaires. Dans la masse des Sables de Fontainebleau on connait des troncs d'arbres silicifiés (Iaxodium de Villejust, une cinquantaine de fossiles de dimensions métriques sur un hectare, voir dans Plaziat et al., 1989; Koeniguer, 1993) et des restes de rhizomes de Nénuphar, de tiges et feuilles de roseaux associés à des Limnées dans le Nord du Hurepoix, dans un mince niveau de calcaire lacustre silicifié (Koeniguer et al., 1995). Les algues silicifiées donnent une idée de la très grande vitesse de précipitation/cristallisation de la silice, puisque les structures cellulaires, fragiles et putrescibles en quelques heures sont bien conservées (cherts du Précambrien: Schopf, 1977; Permien lacustre: Freytet et al., 1992). Dans l'actuel, Winsborough et al. (1994) ont publié (fig.11) une photo de restes de filaments algaires contenus dans un cristal de quartz automorphe développé dans un tuf lacustre vivant. Sans parler des sources thermales actuelles, où les précipitations d'opale sont très riches en filaments algaires (Renaut et al., 1996).

- La succession des évènements géologiques de la figure 5 n'est pas compatible avec le mode de formation des manchons carbonatés. Ceux-ci, ainsi que les coquilles peuvent être détruits lors d'une baisse de niveau du lac, les eaux de pluie percolant alors dans un sable uniquement siliceux. Rappelons que le lac de Beauce était à sec la plus grande partie du temps, ce qui est démontré par la présence cyclique de la croûte zonaire (= stromatolite désertique) et des faciès dérivés (Freytet et Plaziat, 1982, pl.34 et 35).

Sur des points généraux

- La distinction entre blocs glissés sur un versant et dalles en place est élémentaire quand on fait de la cartographie géologique (Ellenberger, 1984; Plaziat et al., 1996), ou géomorphologique (Dewolf et Joly, 1984).
- A Trin, les blocs de platière gréseuse effondrés dans un chenal sont évidemment antérieurs au creusement de ce chenal, dont les matériaux de remplissage revêtent une surface d'aplanissement (Dewolf et al., 1988; Freytet, 1988; Freytet et al., 1989; Dewolf et al., 1994). Cette surface est à l'évidence antérieure au creusement des vallées quaternaires. Donc la grésification est antérieure au creusement des vallées. Cela semble un fait incontournable.
- Les niveaux gréseux ne sont pas qu'en bordure des vallées, mais aussi sous les plateaux, jusqu'à plusieurs kilomètres (Plaziat. 1995b. fig.17. reprenant la carte de Thiry *et al.*, 1988, fig. 2; fig. 12, reprenant la figure 5 de notre note discutée ici).

Sur l'âge de la silicification

Nous avons effectivement écrit que la silicification "apparaît donc comme antérieure, contemporaine et/ou postérieure au recouvrement final des dernières rides sableuses par les dépôts lacustres" (p. 33). Nous pouvons préciser ce que cette formulation très brève signifie pour nous.

Quatre cas sont possibles: (1) la silice est apportée par la nappe aquifère oscillante en équilibre avec la première montée des eaux; nous ne retiendrons pas cette hypothèse, car les manchons carbonatés n'ont pas eu le temps de se former; (2) la silice est apportée par les nappes aquifères oscillantes en équilibre avec les niveaux des lacs occupant les dépressions, c'est l'hypothèse Alimen (1936) adaptée à l'exondaison périodique des lacs; (3) la silice est apportée par les nappes aquifères oscillantes en équilibre avec les niveaux des lacs après recouvrement des reliefs sableux. C'est l'opinion de certains auteurs (Freytet); (4) la silice est apportée par les nappes aquifères oscillantes qui imprègnent les calcaires et sables après assèchement définitif des lacs, début de l'aplanissement et de la karstification (miocène). C'est l'opinion d'autres auteurs (Plaziat). Bien entendu, les divers niveaux gréseux peuvent ne pas avoir le même âge. Mais en aucun cas, nous ne pouvons admettre l'hypothèse quaternaire, pour les raisons exposées plus haut.

Conclusions

Les auteurs n'ont rien apporté de plus que dans leur première publication (Thiry et al., 1988), et leurs observations à notre travail ne répondent en aucun cas aux problèmes très précis de géomorphologie, cartographie géologique et pétrologie sédimentaire que leur hypothèse avait soulevés.

Il faut savoir mettre un terme à une controverse inutile et stérile. Quel est l'intérêt de développer exagérément des points de détail et de minimiser ou de passer sous silence les points majeurs? Il apparaît pour le moins difficile, sinon délicat, de réfuter l'explication liée à l'existence de blocs de grès remaniés dans des alluvions de plateau, antérieures au creusement des vallées quaternaires par la vertu d'une simple exclamation.

^{*}Manuscrit reçu le 8 janvier 1997.

Réponse de Jean-Claude Plaziat*

Il ne reste plus qu'une fausse controverse puisque les auteurs admettent maintenant que la silicification précède l'incision quaternaire des vallées.

Il n'y a pas de raison de s'arrêter à de supposés blocages après la publication de huit articles dans des revues de large diffusion. Nous préférons nous placer dans le cadre d'une discussion courtoise mais ferme.

Cette note d'observations a le grand intérêt de compléter notre bibliographie sur les travaux de l'équipe de Thiry et d'autres spécialistes des silicifications, mais elle oublie encore la note de Grisoni et Thiry (1988) dont l'intérêt est réel puisque sa figure 11 montre bien l'existence de grès sous le plateau de Villejust et admet le caractère très localisé des grès, en une seule série de corps lenticulaires, dans la région du Hurepoix, y compris dans la région de Magny-les-Hameaux. Les données de subsurface de la figure 2 de M. Thiry et al. (1988, Bull. Soc géal, Fr) nous paraissent d'ailleurs contenir tous les éléments que nous avançons... pour contredire la théorie défendue alors par ces auteurs. C'est ce que Plaziat (1995b) a mis en évidence dans un travail d'analyse critique, publication reprenant les figures des travaux sur lesquelles se fondent les principales théories expliquant la grésification des Sables de Fontainebleau, depuis Alimen (1936) jusqu'à Freytet et al. (1995).

Je suis tout à fait d'accord pour interpréter les grès de Fontainebleau comme dus à une silicification de nappe phréatique s'écoulant sous le Calcaire de Beauce. C'est d'ailleurs une opinion exprimée dans trois publications (connues des auteurs de ces observations, mais non citées: Plaziat, 1995a; Plaziat, 1995b; Plaziat et al., 1996), et publiquement affirmée il y a quelques mois à Rouen. Les arguments avancés dans les observations pour justifier cette interprétation nous semblent tout à fait convaincants et ne constituent donc pas, pour moi, un sujet de discussion. Il est vrai que la notion de précocité est une notion fort malcommode. Je crois que nous avons eu le tort d'y insister, en particulier en écrivant que la silicification est interprétée comme "antérieure, contemporaine et/ou postérieure au recouvrement final des dernières rides sableuses par les dépôts lacustres". Cette interprétation qui relie la silicification aux "variations du niveau des lacs d'Etampes et de Beauce" a été exclue par Plaziat (1995b) et Plaziat et al. (1996).

Cependant notre désaccord portait principalement sur l'âge quaternaire de la silicification jusque là défendu par l'équipe de Thiry. Or nous constatons que "la succession des évènements" diagénétiques que l'on nous propose ici est maintenant en accord avec notre point de vue chronologique: "(3) silicification des sables... (et éventuellement des calcaires de couverture?); (4) incision de la vallée

et lessivage des sables par les eaux de percolation qui dissolvent les éléments calcaires non silicifiés". L'incision des vallées étant post-Pliocène, nous retrouvons ici l'opinion qui a été défendue à de nombreuses reprises, d'un âge non quaternaire de la grésification (cf. Dewolf et al., 1988; Freytet, 1988; Dewolf et al., 1994).

L'argument des dalles multiples, uniquement en bordure des vallées, qui a été à l'origine de la théorie de l'âge quaternaire ne paraît pas pour autant abandonné par les auteurs. Cela reste toujours contestable, après examen et cartographie de détail des secteurs-clés des publications de M. Thiry et al. (1988), comme en raison des données de subsurface publiées entre autres dans la note de Grisoni et Thiry (1988) qui est la plus proche de nos observations. La multiplicité des dalles dans la partie méridionale des affleurements est une réalité non contestée (cf. Plaziat et al., 1989). Notre démonstration de l'absence de cette multiplicité au nord de la Rémarde et jusqu'au Plateau de Trappes ne paraît plus un sujet de discussion scientifique majeure dès lors que l'on ne s'appuie plus sur cet argument pour défendre un âge quaternaire des grès. Ce point de désaccord ne pourra être soumis à l'arbitrage de la communauté scientifique qu'avec la publication d'un travail cartographique de fond (encore en cours), mais il devient un désaccord mineur.

Références

ALIMEN H. (1936) - Etude sur le Stampien du Bassin de Paris. Mém. Soc. géol. Fr., 31, 309 p.

Dewolf Y., Freytet P., Joly F., Plet A. (1988) - La Montagne de Trin (Fontainebleau Est), découverte de formations alluviales de haut niveau, leurs relations avec les terrains antérieurs et postérieurs. Bull. Inform. Géol. Bassin Paris, 25, (2), 25-29.

Dewolf Y., Freytet P., Plet A., Couradin A., Sylvestre F. (1994) - Âge anté-quaternaire des grésifications des sables de Fontainebleau (Stampien) au sommet de la Butte de Trin (Seine-et-Marne, Bassin de Paris). Géologie de la France, BRGM, Orléans, n° 1, 52-56.

Dewolf Y., Joly F. (1984) - Genèse et évolution du relief en Forêt de Fontainebleau. Analyse de la carte géomorphologique au 1/25.000 Fontainebleau 1-2. Bull. Inform. Géol. Bassin Paris, 21, (2), 93-97.

ELLENBERGER F. (1984) - Contribution à l'étude géologique de la Forêt de Fontainebleau : structure fine des bandes gréseuses et moules de racines. Bull. Inform. Géol. Bassin Paris, 21, (2), 11-21.

FREYTET P. (1988) - Les surfaces d'aplanissement tertiaires et leurs relations avec les Grès de Fontainebleau. Arguments en faveur d'un âge anté-Pliocène pour les grès. Bull. Inform. Géol. Bassin Paris, 25, 4, 47-52.

*Manuscrit reçu le 8 janvier 1997

FREYTET P., BALTZER F., CONCHON O., PLAZIAT J.C., PURSER B.H. (1994) - Signification hydrologique et climatique des carbonates continentaux quaternaires de la bordure du désert oriental egyptien (cote de la mer Rouge). Bull. Soc. geol. Fr., 165, (5), 593-601.

FREYTET P., BALTZER F., DEWOLF Y., FREYTET A., KOENIGUER J.C., PLAZIAT J.C., PLET A., RUMELHART M. (1995) - Découverte de mollusques d'eau douce stampiens (Oligocène) et de traces de racines silicifiées au sommet des Grès de Fontainebleau près de Magny-les-Hameaux (Yvelines) ; implications paléoécologiques et conséquences sur l'âge de la grésification. Géologie de la France, 4, 27-36.

FREYTET P., DEWOLF Y., JOLY F., PLET A. (1989) - L'évolution du secteur Loire-Loing-Seine à la fin du Tertiaire. Réinterprétation géomorphologique des relations entre Sables de Sologne et Sables de Lozère, et signification du complexe alluvial de la Montagne de Trin. Bull. Inform. Géol. Bassin Paris, 26, (2), 49-57

FREYTET P., LEBRETON M.L., PAQUETTE Y. (1992) - The carbonates of Permian lakes of the North Massif Central, France. Carbonates and Evaporities, 7, (2), 122-131

FREYTET P., PLAZIAT J.C. (1982) - Continental carbonate sedimentation and pedogenesis - Late Cretaceous and Early Tertiary of Southern France. Contrib. to Sedimentology, 12, (ed. B.H. Purser), Schweizerbart'sche Verl., Stuttgart, 217 p.

Freytet P., Plet A., Verrecchia E. (1996) - Remarques sur les calcaires continentaux (calcaires lacustres, palustres et calcrètes), à propos du livret guide de l'excursion de Juin 95 de l'A.G.B.P. (Bull. A.G.B.P. 32, 3 et 4). Bull. Inform. Ass. Géol. Bassin Paris, 33, (2), 21-27.

GRISONI J.C., THIRY M. (1988) - Répartition des grès dans les Sables de Fontainebleau. Implications géotechniques des études récentes. Bull. Liaison Lab. Ponts et Chaussées, 157, 17-28.

KOENIGUER J.C. (1992) - Les minéralisations des fossiles végétaux. Bull. Soc. bot. Fr., 139, 57-67.

KOENIGUER J.C. (1993) - Sur des fossiles végétaux peu communs de l'Ouest européen et du Nord de l'Afrique. Bull. trim. Soc. géol. Normandie et Amis du Museum du Havre, 80, (3-4), 1 p.

KOENIGUER J.C., CHANTRET F., PINSON S. (1995) - Découverte en affleurement d'un dépôt lacustre silicifié interstratifié dans les Sables de Fontainebleau au Nord du Hurepoix (Yvelines, Oligocène supérieur). Bull. Inform. géol. Bassin Paris, 32, (2), 3-6.

PLAZIAT J.C. (1995a) - Les Grès de Fontainehleau, mécanismes et âge de la grésification selon les travaux récents. Chroniques stampiennes. n°2. p. 4.

PLAZIAT J.C. (1995b) - Les Grès de Fontainebleau : discussion des mécanismes et de l'âge de la grésification. Biologie Géologie, Bull. Ass. Prof. Biol. Géol., (3), 297, 507-532.

PLAZIAT J.C., FREYTET P., KOENIGUER J.C., MORMIN S. (1996) - Les Grès de Fontainebleau du Hurepoix et de la Forêt de Fontainebleau : les déplacements de blocs sur les flancs des vallées quaternaires. Coll. Formations superficielles, Rouen, 19-21 mars 1996, Rés., p. 48.

PLAZIAT J.C., KOENIGUER J.C., MAESTRATI P., POISSON A. (1989) - Les critères d'environnements marins et continentaux dans les Sables de Fontainebleau (Stampien du Bassin de Paris). 114° Congrès Soc. Sav., Paris, Géologie du Bassin de Paris, 119-142.

RENAUT R.W., JONES B., ROSEN M.R. (1996) - Primary silica oncoids from Orakeikorako Hot Springs, North Island, New Zealand. Palaios, 11, (5), 446-458.

SCHOPF J. (1975) - Modes of fossil preservation. Rev. Paleobot. Palynol., 20, 27-53.

SCHOPF J.W. (1977) - Biostratigraphic usefulness of stromatolitic Precambrian microbiota: a preliminary analysis. Precambr. Research, 5, 143-173.

THIRY M., BERTRAND-AUDEBERT M., GRISONI J.C., MENILLET F., SCHMITT J.M. (1997) - Observation à la note de P. Freytet, F. Baltzer, Y. Dewolf, A. Freytet, J.C. Koeniguer, J.C. Plaziat, A. Plet, M. Rumelhart (1995) - Découverte de mollusques d'eau douce stampiens (Oligocène)... près de Magny-les-Hameaux (Yvelines); implications paléoécologiques et conséquences sur l'âge de la grésification. Géologie de la France, 4, 27-36.

THRY M., BERTRAND AYRAULT M., GRISONI J.C., MENILLET F., SCHMITT J.M. (1988) - Les Grès de Fontainebleau : silicification de nappes liées à l'évolution géomorphologique du Bassin de Paris durant le Plio-Quaternaire. Bull. Soc. géol. Fr., (8), 4, 419-430.

WINSBOROUGH B.M., SEELER J.S., GOLUBIC S., FOLK R.L., MAGUIRE B. JR. (1994) - Recent fresh-water lacustrine stromatolities, stromatolitic mats and oncoids from northeastern Mexico. in: J. Bertrand-Sarfati, C. Monty (eds), *Phanerozoic stromatolites* II, 71-100, Dordrecht (Kluwer Acad. Publish.).

CARTOGRAPHIES SÉDIMENTOLOGIQUES ET MORPHOLOGIQUES PAR TÉLÉDÉTECTION DE LA BAIE DU MONT SAINT-MICHEL

(Ouest de la France)

Comparaison de capteurs et de méthodes de segmentation d'images

par **Y. Marchand**

Document du BRGM n° 259

Ce travail de thèse propose un protocole complet de traitement d'images satellitales optiques (SPOT-XS, JERS-OPS et LANDSAT-TM) pour obtenir des cartes sédimentologiques, morphologiques et dynamiques en milieu littoral, à partir d'un exemple concret : la baie du Mont Saint-Michel.

Après une présentation générale de la géomorphologie et de la dynamique de la baie, les propriétés optiques des différents environnements sédimentaires sont énoncées. Puis, les scènes satellites utilisées sont analysées. Ensuite une approche cartographique globale est réalisée à partir de classifications. Douze classifieurs par nuées dynamiques sont testés sur la première donnée XS et celle de OPS. Une campagne de terrain, dans différentes parties de la baie, synchrone avec la programmation de la scène SPOT a permis une étude entre la nature des sédiments et leur signature spectrale. Enfin, un premier bilan cartographique est établi accompagné d'une réflexion sur les avantages et inconvénients des différents types de classifications et de capteurs.

Une approche thématique est ensuite réalisée pour des objets n'ayant pas pu être clairement discriminés précédemment. Les accumulations coquillières remontent sur le haut estran sous l'action de la houle. Le facteur 3 d'une Analyse en Composantes Principales sur la donnée OPS permet de différencier les ensembles sableux selon leur teneur en carbonates. Vient ensuite une analyse des processus de divagation des chenaux, fondamentaux pour la dynamique des schorres de la partie estuarienne. Une méthode par régionalisation assistée est présentée et permet d'établir des cartes explicatives de la dynamique des herbus. Enfin, le récif des hermelles est cartographié en 1995 à partir d'une méthode développée en Intelligence Artificielle.

En conclusion, le bilan comparatif des capteurs et des méthodes de segmentation d'images met en évidence l'intérêt et les limites, notamment pour la vase, des données satellitales pour la cartographie géomorphologique. Finalement une carte synthétique de la baie du Mont Saint-Michel actualise l'état en 1995 et souligne l'évolution du haut estran depuis 1986, notamment la progression de l'ensablement dans la partie orientale.

The thesis presents a protocol for processing optical satellite images in order to obtain morphologic and sedimentologic maps of coastal areas. The experimental work is based on the Bay of Mont-Saint-Michel.

An outline of the hay's geomorphology and dynamics is followed by a description of the optical characteristics of its sedimentary environments and an analysis of the satellite scenes. The adopted global mapping approach by classification is then discussed wherein 12 unsupervised classifiers were tested on XS and OPS remote sensors. Field investigations synchronised with the acquisition of one SPOT scene enabled a parallel study of the sediments and their spectral signatures. The advantages and drawbacks of the sensors are discussed on the basis of the obtained maps.

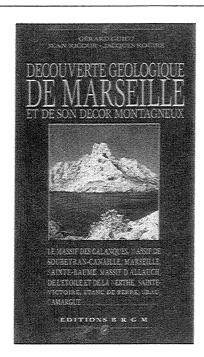
Further definition is obtained through a thematic approach applied to objects poorly discriminated in the classification approach. In the first instance, it was found that application of the third component of a Principal Component Analysis made it possible to differentiate the sandy bodies of the tidal flat by their carbonate content and thus to map the shell accumulations. Secondly, a new supervised method was used to map the wandering channels - essential elements in the shorre dynamics of the estuarine bay. Finally an Artificial Intelligence method was adopted to map the hermelles reef.

Comparison of the satellite sensors and the image segmentation methods reveals the advantages and limitations of the remote sensing approach for such studies. A map of the Bay of Mont-Saint-Michel, updated to 1995, clearly demonstrates the evolution of the tidal flat since 1986.

Prix de vente: 600 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, à défaut, 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.

GÉOLOGIE DE LA FRANCE, N° 1, 1997



Découverte géologique de Marseille et de son décor montagneux

le massif des calanques, massif de Soubeyran-Canaille, Marseille, Sainte-Baume, massif d'Allauch, de l'Etoile et de la Nerthe, Sainte-Victoire, étang de Berre, Crau, Camargue...

par Gérard Guieu, Jean Ricour, Jacques Rouire

Véritable initiation à la géologie, ce guide — illustré de 120 photographies en couleurs et d'une cinquantaine de croquis didactiques — a un double objectif. Au travers d'une promenade dans les décors somptueux de la région marseillaise, les trois auteurs aident le lecteur à analyser les paysages qui l'entourent et à les interpréter avec l'œil du géologue. En second lieu, ils s'attachent à montrer ce que les sciences de la Terre ont apporté au développement économique de la région, grâce à la mise en valeur des produits du sous-sol : ciment, pierre de taille, sables et graviers, argile, bauxite, charbon, hydroélectricité.... Ils indiquent aussi leur importance pour la défense de l'environnement (ressources en eau potable et industrielle, élimination des déchets), et pour l'aménagement du territoire : routes, voies ferrées, ports, aménagement urbain (métro, tunnels). Il s'agit, en définitive, de démontrer que chacun de nous bénéficie quotidiennement des recherches et des activites des geologues.

Marseillais de souche, Gérard GUIEU, docteur ès sciences et professeur de Géologie appliquée à l'Université de Provence, a consacré toute sa carrière à la Provence. En préparant sa thèse "Etude tectonique de la règion de Marseille", il a parcouru, décrit et analysé tous les sites évoqués dans l'ouvrage. Il a, à cette occasion, mis en évidence des phénomènes tectoniques insoupçonnés du grand public. Il est l'auteur d'une centaine de publications scientifiques parues tant en France qu'à l'étranger.

Originaire des Flandres françaises, Jean RICOUR a opté pour la Provence. Après des débuts à l'Institut de Paléontologie humaine et au CNRS, il a poursuivi sa carrière au Bureau de recherches géologiques et minières où il fut l'initiateur de l'hydrogéologie et le créateur des services géologiques régionaux. Docteur ès sciences, il est l'auteur de plus de cent communications scientifiques et dirige, au sein des éditions du BRGM, une série intitulée "Découverte géologique..." des régions de France. Il a été président de la Société géologique de France.

Originaire de l'Aveyron. Jacques ROUIRE a rapidement pris contact avec la Provence puisque, Saint-Cyrien, il fit partie de la promotion "Croix de Provence". Attiré par les sciences naturelles, il abandonna rapidement l'Armée pour soutenir une licence ès sciences et se consacrer à la géologie. Il est l'auteur de 28 cartes géologiques de Provence à des échelles diverses, et a été président de la section des Causses du Club Alpin et secrétaire général de la Société spéléologique de France.

Prix de vente : 120 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 à défaut aux :

Éditions BRGM - BP 6009 - 45060 Orleans Cedex 2 - France

Tél.: 02 38 64 30 28

accompagné de votre titre de paiement

Depuis sa fondation en 1946, la *Revue de l'Institut Français du Pétrole* publie en français et en anglais :

- des articles de synthèse scientifiques, techniques et/ou économiques;
- des articles originaux dans tous les domaines des sciences pétrolières;
- des notes techniques brèves, publiées rapidement, qui permettent de prendre date sur un sujet sensible.

Cette publication bimensuelle, d'audience internationale, étend sa compétence aux domaines de la recherche, de la production, du traitement et de l'utilisation du pétrole, du gaz naturel et des autres sources d'énergie.

Les articles publiés sont directement issus de l'activité scientifique et technique de l'Institut Français du Pétrole (IFP). Ils sont rédigés par des ingénieurs, scientifiques et techniciens de sociétés françaises et étrangères, par des chercheurs et spécialistes de tous pays, et des universitaires de toutes disciplines.

Ces articles sont répertoriés dans les principales bases de données bibliographiques (CAS, Apilit, Tulsa, Compendex, Current Contents, Georef, Pascal, etc.). Dans la littérature internationale, la *Revue de l'Institut Français du Pétrole* est la seule revue de recherche sur l'industrie du pétrole ot du gaz à être prise en considération par le SCI (Science Citation Index). The REVUE DE L'INSTITUT FRANÇAIS DU PÉTROLE is the French Journal of Petroleum Science and Technology. It has achieved worldwide readership, and is now an internationally listed reference.

Ever since 1946, the Revue has been publishing bimonthly issues with articles in French or in English, such as:

- scientific, technical or economic synthesis articles reviewing original research and achievements,
- review articles summarizing a topic,
- technical notes on a specialized subject or a detailed method.



The journal covers disciplines and fields related to oil and gas prospecting, production, processing and utilization as well as that of other energy sources. The articles are based on the scientific and technical activities of the Institut Français du Pétrole (IFP) and are written by engineers, scientists and technicians from French and foreign companies, researchers and specialists from around the world, and teachers of all disciplines.

It can be stressed that:

- The Hevue is a publication with European focus that has already achieved considerable circulation in the United States.
- The articles are indexed in the major bibliographical data bases (CAS, Apilit, Tulsa, Compendex, Current contents, Georef, Pascal and others).
- In the Science Citation Index (SCI), it is classified under both Energy & Fuels and Engineering Chemical, and is the only oil and gas industry research journal in the international literature considered by SCI.

Numéros spéciaux Special issues

Prix de vente unitaire Price per Issue: **290 F**

- · Improved Oil Recovery. No. 1, 1990.
- Multiphase Catalytic Reactors in the Oil Industry: Design. Modeling. Scale-up. No. 4. 1991.
- Artificial Intelligence in the Oil Industry: Knowledge Based Systems, Neural Networks, Fuzzy Logic. No. 3. 1992.
- Applications of Raman Spectrometry in the Petroleum Industry. Applications de la spectrométrie Raman dans l'industrie pétrolière. N° 3, 1993.
- Composite Materials in the Petroleum Industry. Matériaux composites dans l'industrie pétrolière. Nº 1. 1995.
- · Natural Gas. Gaz naturel (Le). No 5, 1996.
- Mécanique des fluides numérique (CFD) appliquée au génie des procédés (La). N° 6, 1993 et N° 2, 1996.
- Molecular Modeling in the Oil and Gas Sciences. Modélisation moléculaire dans les sciences pétrolières et gazières. N° 1, 1996.

BULLETIN D'ABONNEMENT

A remettre à votre libraire ou, à défaut, à l'éditeur

SUBSCRIPTION ORDER

Prix de l'abonnemer	nt (1 an, 6 numéros) / <i>3</i>	ubscription Pi	r ice for a comple	ete year from Ja	anuary through Dec	ember o	nly
Année / Year 1997	Union européenne / <i>Eur</i>	opean Union:	1500 F	Autres pays	/ Other Countries:	1600 F	
Année / <i>Year</i> 1998	Union européenne / <i>Eur</i>	ropean Union:	1500 F	Autres pays	/ Other Countries:	1600 F	
1946 à 1996 (hors nu	néro / <i>Price per issue</i> méros spéciaux) : Special issues excepted)	260 F 2: 260 F	Année complète		1990 (6 numéros) : 990 (6 issues):	600 F 600 F	
			Société - Organis	me / <i>Company</i> -	Organization		
Code postal / Post Code	Vill	e / <i>City</i>	***************************************	Pays	/ Country		

Cet abonnement ne peut être honoré que s'il est accompagné du règlement ou d'un bon de commande officiel d'une société ou d'un organisme Please enclose your payment with this order, or join an official Subscription Order Form trom your Company or Organization

Éditions du BRGM

3, avenue Claude Guillemin - BP 6009 45060 ORLÉANS CEDEX 02 - France Tél.: 02 38 64 30 28 - Fax: 02 38 64 36 82

Vient de paraître

Les Tremblements de terre en France Hier, Aujourd'hui, Demain

ouvrage réalisé sous la direction de Jérôme LAMBERT Ingénieur-historien des séismes au BRGM

La France a-t-elle déjà connu des séismes destructeurs ? Sont-ils possibles? Qu'en est-il exactement?

Jérôme LAMBERT Aujourd'hui

C'est à cette série d'interrogations que l'ouvrage "Les Tremblements de terre en France Hier, Aujourd'hui, Demain" veut apporter des éléments de réponse.

Par un surprenant voyage dans le passé qui fourmille d'anecdotes et de témoignages parfois inédits, cet ouvrage nous fait revivre ces tremblements de terre qui, de siècle en siècle, et d'une région à l'autre de la France, ont semé l'angoisse, la misère et le désespoir.

Preuve que le risque sismique est une réalité tangible, même chez nous.

Novateur dans sa conception, l'ouvrage aborde tour à tour l'histoire des séismes majeurs en France, l'explication et l'étude des phénomènes sismiques ainsi que les aspects législatifs et réglementaires relatifs à la protection parasismique.

Ce livre est destiné à la fois à un large public qui découvrira des informations sur la sismicité de sa région et aux spécialistes qui y trouveront une synthèse des données de sismologie.

Prix public: 250 FTTC +50 F de frais de port

Format : 22,5 cm x 30 cm ; 196 pages couleurs 130 photos - 97 figures et schémas

Nº ISBN : 2 7159 0842 3

EDITIONS BRGM

RECOMMENDATIONS TO AUTHORS

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 the 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 subsurface and surface geology. By taking into account surrounding regions, studies need not be restricted by national boundaries, but can take into account entire geological entities

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

MANUSCRIPTS

Three copies of typed manuscript (accompanied by a 3.5'' diskette [PC or Macintoch] in Microsoft Word or revisable format such as RTF) and of the illustrations should be addressed to the Chief Editor. These will be sent to two referees for review. On acceptance, authors will be invited to return the final corrected manuscript (accompanied by a 3.5'' diskette) and the original of the figures.

LANGUAGES

Both French and English are accepted languages for Geology of France.

PAPERS

Length

Articles should not exceed 15 printed pages, including illustrations and references.

As an indication, 80 typed lines of 80 characters of spaces correspond approximately to one printed page.

Lavout

The Layout of the article should be as follows:

- Title.
- Running title: maximum of 60 characters, including spaces, when the full title exceeds this length.
- Author(s): provide the name, given name (in full), and address (in full) of each author.
 - List of contents.
- Abstract in the language of the text (maximum 2,000 characters, including spaces).
- Extended Abstract of between on and two printed pages (about 6,000 to 12,000 characters, including spaces) The Extended Abstract, which will be published in the second language of Geology of France (i.e. French or English) should be accompanied, if possible, by a translation into this second language. The Chief Editor will arrange for the translation to be verified or for the original to be translated.
 - Text of the article.
 - Acknowledgements.
- References for all authors cited in the text and figure/table captions.

- List of illustrations (figures, tables and photo plates) with their titles and captions (if possible in both French and English)
 - The illustrations, each on a separate page.

Technical data

Manuscripts should be typed double-spaced in 12 pt characters on one side only of size A4 paper (21 \times 29.7 cm), with approximately 3 cm margins to either side.

The text, including title and author names should be in lowercase letters, with uppercase being used only where required by normal practice, such as for the first letter of sentences and of proper names.

Standard abbreviations should be used (cm, m, Ma, t, °C, NW-SE, Pb, etc.), and units of measurement should comply with international standards

Citations

References in the text to other articles should merely indicate the name of the author (or both authors when there are two) followed in parenthesis by the publication date of the article: if the article in question has more than two authors, the expression "et al." should be used (in italies) after the first author; if the citation does not form an integral part of the sentence than the whole reference should be parenthesis – e.g. "according to Köppel (1983), Robert and Kelly (1987a) and Bastos Neto et al. (1991) this approach is perfectly valid..." or "... such an approach has been used successfully in other fields (Köppel, 1983; Robert and Kelly, 1987a; Bastos Neto et al., 1991)".

List of References

The References should include all the citations quoted in the text and only those citations. It should list the authors alphabetically and then chronologically when several references by a same author are given. If references are made to different articles by a same author for a given year, these should be distinguished by appending a, b, c etc., to the year (e.g. 1990a). References with more than two authors beginning with the same author (the rest may be different) in the course of a single year, should also be distinguished by adding a, b, c, and so on, to that year.

Citations should be listed as follows and as shown in the examples below: the name(s) of the author(s), (each) followed by the author's initial(s) or name; the date of publication (in parentheses); then:

for articles in a journal: the full title of the article; the full name of the journal (in italics); the volume number (in bold), and the first and last page numbers.

for books: the full title of the book; the name of the publisher; the number of pages in the book.

for articles in a book or volume of collected papers: the name(s) of the editor(s); the title of the book or volume; the name of the publisher; the first and last page numbers of the article in question.

References should be typed complete with accents in lower case, and should follow the punctuation given in the examples below:

Bastos Neto A., Charret J., Touray J.-C., Dardenne M. (1991) – Evolution tectonique du

district à fluorine de Santa Catarina (Brésil) en relation avec l'ouverture de l'Atlantique. Bull. Soc. géol. Fr., 162, 503-513.

Deroin J.P., Girault F., Rouzeau O., Scanvic J.Y. (1993) – Cartographie géologique en Velay : aspects méthodologiques de l'étude par télédétection et présentation des résultats. Géologie de la France, nº 1, 3-13.

Illustrations (figures, tables, photographic plates)

The original illustrations should only be submitted with the final manuscript. They should each be on a separate sheet and numbered according to the order in which they are cited in the text.

Authors must ensure that all the place names mentioned in the text are shown on the corresponding figures, or that they are cited with reference to another location shown on one of the figures (e.g. "10 km northeast of Paris").

All figures must be submitted on a medium that allows quality reproduction (tracings or black and whited prints). Lines, patterns and lettering must be of a suitable weight and size that they can (if necessary) be reduced to fit one or more columns of a *Geology of France* page; for this reason only graphic scales are acceptable on maps and diagrams.

Tables should, where possible, be prepared so that they can be reproduced directly onto one or more columns of a *Geology of France* page.

Photo plates, in black and white, should be of nigh quality and no larger than the Geology of France effective page size $(18 \times 25 \text{ cm})$.

Colour reproductions of figures and photo plates are possible at the specific reques (and also at the expense) of the author(s).

Copyright

It is entirely the author's responsibility to obtain permission to use previously published material and the *Geology of France* will request a relevant release form from the author that this has been done

SHORT NOTES

Scientific and technical communications should not exceed 5 printed pages in length including the text, references and illustrations. The presentation should be outlined above for scientific articles, except that the *abstracts* in French and English should be of the same length and should not exceed 1500 characters (including spaces). The text will be reviewed by a single referee.

CORRECTION OF PROOFS

Only one set of proofs will be sent to authors for proof-reading. If a paper has several authors, the proofs will be sent to the author who originally submitted the paper.

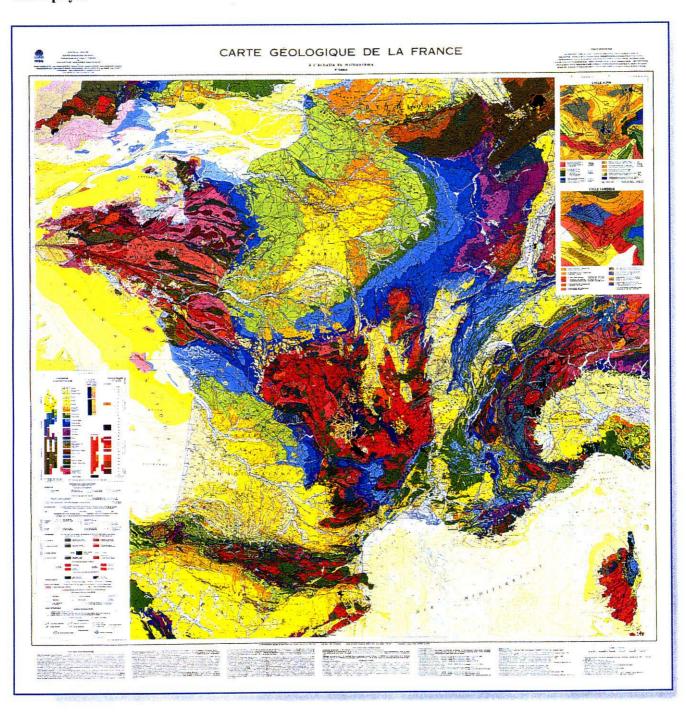
Corrected proofs should be returned to the editor within two weeks.

The editor reserves the right to make any necessary corrections, without incurring liability, should the author fail to return proofs within the specified time, thereby jeopardising the publication deadline. Corrections must be limited to typographical errors only.

LA CARTE GÉOLOGIQUE DE LA FRANCE AU MILLIONIÈME

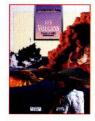
Outre son aspect décoratif, la nouvelle carte géologique de la France à 1/1 000 000 est un outil pédagogique de tout premier ordre pour tous ceux qui s'intéressent à leur terroir, à leur environnement et aux sciences de la Terre.

En effet, une carte géologique c'est bien autre chose qu'une carte géographique en habit d'arlequin! Chacune de ses couleurs, chacun de ses symboles, chacune de ses notations apportent une information sur l'âge, la nature ou la structure de tous les terrains qui composent la "mosaïque géologique" de notre pays.



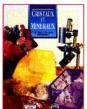
Impression et façonnage BRGM Service reprographie Dépôt légal : juin 1997

LES SECRETS DE LA TERRE



A la fois redoutés pour leurs imprévisibles colères destructrices et fascinants par le spectacle grandiose de leurs éruptions, les volcans dispensent aussi des bienfaits grâce à l'extraordinaire fertilité de leurs sols, aux matériaux qu'ils rejettent et aux eaux thermales qu'ils réchauffent en leur sein. Jadis, sièges des dieux ou de l'enfer, les volcans font maintenant l'objet d'études scientifiques de plus en plus sophistiquées visant à reconstituer leur histoire individuelle, à comprendre leur fonctionnement et à diminuer les risques qu'ils font encourir. Les volcans seront encore pour quelques milliards d'années les fidèles et dangereux compagnons des hôtes de notre planète.

64 pages en couleurs, format 28 x 21 cm, relié. Référence 000204 - **Prix : 96 FF**.



Bien que toute naturelle la perfection des cristaux répond à des règles physiques et chimiques ordonnées. Naître, grandir et vieillir telle est la destinée du cristal à l'intérieur des roches qui composent la croûte terrestre. La minéralogie est la science qui permet de découvrir cette merveilleuse organisation où se mêlent, en toute modestie, les simples cristaux aux extraordinaires joyaux. Dès la préhistoire, l'Homme s'intéresse au minéral, depuis, une large place lui est consacrée dans l'évolution du savoir, des sciences et des techniques les plus modernes. Avec cet ouvrage nous vous invitons à découvrir une extraordinaire saga du règne minéral.

64 pages en couleurs, format 28 x 21 cm, relié. Référence 000205 - **Prix 96 FF**.



L'eau, source de vie, à l'origine de la formation de la terre, est une substance extraordinaire aux propriétés multiples, c'est aussi un des éléments clefs avec le ciel et la terre. La molécule d'eau "H₂O" est présente dans notre quotidien sous trois formes : l'eau, la glace et la vapeur. La valeur de l'eau est inestimable, première ressource minérale du monde, sa protection et sa gestion sont indispensables à la survie de l'humanité, du règne animal et végétal. Alors, partons à la découverte de ce formidable élément indispensable à notre vie.

64 pages en couleurs, format 28 x 21 cm, relié. Référence 000206 - **Prix : 96 FF**.



Il y a quinze milliards d'années, le commencement de notre univers a été marqué par une colossale explosion, le big bang. Il est le coup d'envoi simultané de l'énergie, du temps, de l'espace et de la matière, c'est-à-dire de tout ce qu'il faut pour faire un monde. Dix milliards d'années plus tard, dans un système stellaire en formation, une petite planète, qui deviendra bleue, connaît une évolution géologique et biologique étonnante. L'Homme d'aujourd'hui, qui en est un des extraordinaires aboutissements, a su reconstituer cette histoire inouie.

64 pages en couleurs, format 28 x 21 cm, relié. Référence 000201 - **Prix : 96 FF**.



Des mythiques dinosaures, aux plus petites coquilles marines, c'est un voyage dans le monde de la paléontologie qui nous invite à la découverte de l'histoire de notre planète à travers sa fantastique évolution biologique.

Les fossiles, rouage d'une fabuleuse machine à remonter le temps, nous entraînent si près des frontières de l'étrange, que vous ne pouvez l'imaginer.

64 pages en couleurs, format 28 x 21 cm, relié. Référence 000203 - **Prix : 96 FF**.



Les phénomènes présentés sont naturels, certes, mais ils étonnent soit par leur soudaineté, soit par leurs conséquences catastrophiques, soit par leur beauté ...

Des cyclones aux marées, de l'orage à l'arc-en-ciel, des geysers aux aurores boréales, une promenade à travers la météorologie, la géologie, l'océanographie et aussi l'histoire des Sciences.

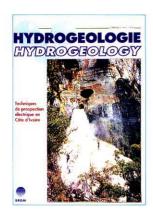
64 pages en couleurs, format 28 x 21 cm, relié. Référence 000202 - Prix : 96 FF.

PRIX UNITAIRE

TOTAL

BON DE COMMANDE à remettre à votre librairie ou à défaut à retourner aux Editions BRGM - BP 6009 - 45060 ORLÉANS CEDEX 2, France

A EXPÉDIER :	☐ LA TERRE ET L'UNIVERS ☐ LES FOSSILES	exemplaire(s)	96 FF 96 FF	FF
Nom	☐ LES PHÉNOMÈNES NATURELS ☐ LES CRISTAUX ET MINÉRAUX	exemplaire(s)exemplaire(s)	96 FF 96 FF	FF
Adresse	☐ L'EAU ☐ LES VOLCANS	exemplaire(s)exemplaire(s)	96 FF 96 FF	FF
		FRAIS DE PORT	15 F par exemplaire	
Date Signature		TOTAL GÉNÉRAL		



Consociate de la RECHERCHE MINIÈRE CASSOCIALO 9

MINERAL RESEARCH & EXPLORATION

Dissantia formation

10 de la material de la

GEOLOGIE DE LA FRANCE
GEOLOGY OF FRANCE
AND SURROUNDING AREAS

Nationalized of
Personal Conference
College of Conference
College of

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.

Hydrogéologie 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 ground-water. 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 - BP 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.

Chronique de la Recherche Minière is a journal aiming at both researchers studying the fundamental geology of mineral deposits and 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 of discoveries) and their prospection (methods and tools used); contributions will also be welcome on methods of processing and on mining economics.

Apart from scientific papers, the scientific and technical communications are 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.

Géologie de la 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 the 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 subsurface and surface geology. By taking into account surrounding regions, studies need not be restricted by national boundaries, but can take into account entire geological entities.

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

Abonnement 1997:

Abonnement par revue : Abonnement aux 3 revues, 12 numéros France: 650 F France: 1 800 F Étranger : 700 F Étranger : 1 900 F

Chèque à établir à l'ordre de : Éditions BRGM, 3 avenue Claude Guillemin, BP 6009, 45060 Orléans Cedex 2

ISSN 0246-0874 © Éditions BRGM - BP 6009

45060 Orléans Cedex 2 - France Directeur de la publication : *Gérard Sustrac*

Commission paritaire : N° 624 ADEP Dépôt légal : 2^{eme} trimestre 1997

Impression : BRGM Service Reprographie

